

DOI 10.15589/jnn20180305
УДК 629.584
Б69

APPLICATION OF AUTOMATIC APPARATUS WITH RADIO FOR MONITORING OF FITTINGS IN THE PORT AREAS

ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ З РАДІОБУЄМ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ В ПОРТОВИХ РАЙОНАХ

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,
проф., д-р техн. наук

А. С. Сірівчук,
ст. викл.

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

Abstract. Port water areas are strategic objects the sea of economic activity of any country therefore it is necessary to provide safe movement of vessels in these water areas and to prevent unauthorized penetrations. As means of lighting of an underwater situation use of independent submersibles with a radio buoy as they allow to research the big areas as independent submersibles is in real time offered, at the same time transferring information in real time as fastened. The methodology of calculation of expenses of time for carrying out underwater operations in case of different paths of movement of the device was offered. By means of this methodology it was calculated expenses of time and optimum quantity of outputs of submersibles for the ports of Ukraine with a research objective of quays and patrol of the water area hydroacoustic instruments. The received results are preliminary estimate of expenses of time for a research of port water areas and can serve for formation of the specification for construction of independent submersibles with a radio buoy.

Keywords: autonomous underwater vehicle with radiobou; port regions; underwater lighting; trajectory of motion.

Анотація. Портові акваторії є стратегічними об'єктами морегосподарської діяльності будь-якої країни, тому необхідно надавати безпечне пересування суден у даних акваторіях і попереджати несанкціоновані проникнення. Як засоби висвітлення підводної обстановки в режимі реального часу пропонується використання автономних підводних апаратів з радіобуєм, оскільки вони дозволяють досліджувати великі площі, як автономні підводні апарати, при цьому передаючи інформацію в режимі реального часу, як прив'язні. Була запропонована методологія розрахунку витрат часу на проведення підводних робіт за різних траєкторій руху апарата. За допомогою даної методології було розраховано витрати часу й оптимальну кількість виходів підводних апаратів для портів України з метою дослідження причальних стінок і патрулювання акваторії гідроакустичними приладами. Отримані результати є попередньою оцінкою витрат часу для дослідження портових акваторій і можуть служити для формування технічного завдання для конструювання автономних підводних апаратів з радіобуєм.

Ключові слова: підводний апарат з радіобуєм; портові акваторії; висвітлення підводної обстановки; траєкторія руху.

Аннотация. Портовые акватории являются стратегическими объектами морехозяйственной деятельности любой страны, поэтому необходимо обеспечить безопасное передвижение судов в данных акваториях и предупреждать несанкционированные проникновения. В качестве средств освещения подводной обстановки в режиме реального времени предлагается использование автономных подводных аппаратов с радиобуем, поскольку они позволяют исследовать большие площади, как автономные подводные аппараты, при этом передавая информацию в режиме реального времени, как привязные. Была предложена методология расчета затрат времени на проведения подводных работ при различных траекториях движения аппарата. С помощью данной методологии было рассчитано затраты времени и оптимальное количество выходов подводных аппаратов для портов Украины с целью исследования причальных стенок и патрулирования акватории гидроакустическими приборами. Полученные результаты являются предварительной оценкой затрат времени для исследования портовых акваторий и могут служить для формирования технического задания для конструирования автономных подводных аппаратов с радиобуем.

Ключевые слова: подводный аппарат с радиобуем; портовые акватории; освещение подводной обстановки; траектория движения.

REFERENCES

- [1] Blintsov, O. V. & Hrytsayenko, M. H. (2014). Telekrovani pidvodni aparaty na sluzhbi morehospodars'koyi diyal'nosti Mykolayivshchyny [Remotely operated vehicle on the service of the maritime business of Nikolaev]. *Shipbuilding & marine infrastructure*, 1, 28-33.
- [2] *Sistemy ohranyi i zashchityi akvatorii* [Systems of protection the water area]. Retrieved from http://www.trancons.ru/information/stati_i_publicacii/sistemy_okhrany_i_zashchityi_akvatorii.
- [3] Anderson, M. E. (2010). *Metody i sredstva zashchity ot podvodnykh diversantov* [Methods and arsenal of protection against underwater saboteurs], trans. M. L. Antokolskiy. Retrieved from <http://www.akvilona.ru/news/anti-frogman.htm>.
- [4] Sirivchuk, A. S. (2017). Analiz zasobiv vysvitleniya pidvodnoho seredovyscha v portovykh akvatoriakh [Analysis of the arsenal of independent of the underwater situation in port waters]. *XV naukovykh-tekhnichna konferentsiya. Stvorenniya ta modernizatsiya ozbroyneniya i viys'kovoyi tekhniki v suchasnykh umovakh*, Chernihiv, UA, 11-12.09.
- [5] Shcherbakov, G. N., Shlykov, Yu. A. & Brovin, A. V. (2008). Zashchita vazhnykh ob'yektov ot podvodnogo terrorizma [Protecting important objects from underwater terrorism]. *Spetsialnaya Tekhnika*, 2. Retrieved from <http://www.bnti.ru/aprintit.asp?aid=966>.
- [6] Fedyayev, S. L., Mitkevich, V. S., Kozlov, S. A. & Markevich, P. A. (2012). Sistema aktivnoy zashchity ob'yektov osoboy vazhnosti. imeyushchikh vykhod k akvatorii [The system of active protection of objects of special importance, having access to the water area]. *Spetsstekhnika i svyaz*, 2, 26-33. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/sistema-aktivnoy-zashchity-obektov-osoboy-vazhnosti-imeyushchih-vykhod-k-akvatoriiam>.
- [7] Sidenko, K. S. & Golobokov, S. A. (2008). Zashchita portov i odinochnykh sudov s pomoshchyu neobitayemykh podvodnykh apparatov [Protection of ports and single vessels with unmanned underwater vehicles]. *Morskoy Flot*, 5, 28. Retrieved from <http://www.morflot.su/archives/articles1811file.pdf>.
- [8] Blintsov, V. S. & Kostenko, Yu. K. (2013). Avtomatizirovannaya sistema monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy vodnykh transportnykh putey [Automated monitoring system for hydraulic structures of waterways] *Portovi tekhnologii ta tekhnika moreplavannya: materialy Vseukraïns'koi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoyu uchastyu*. Mikolaiv, NUK, 152-155.
- [9] Kasum, J., Vidan, P. & Baljak K. *Act about safety protection of merchant ships and ports open to international traffic and its implementation*. Retrieved from <https://bib.irb.hr/datoteka/326007.portoro.pdf>.
- [10] *Morskiye porty Ukrainy* [Seaports of Ukraine]. OOO SIF-SERVIS, agentirovaniye sudov i ekspedirovaniye gruzov v Ukraine, trudoustroystvo moryakov. Retrieved from <http://www.sifservice.com/index.php/informatsiya/porty-ukrainy/morskie-porty>.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одним з важливих об'єктів морегосподарської діяльності України є порти. Їх технічний стан має гарантувати безпечний захід, стоянку та вихід суден різного призначення. Для виконання поставлених задач необхідно вирішувати наступні завдання:

- оновлювати морську карту фарватерів та акваторій порту;
- здійснювати періодичний контроль і вчасне лагодження гідротехнічних споруд, що знаходяться в акваторії порту;
- висвітлювати підводну обстановку при технічних та аварійних підводних роботах на акваторіях порту;
- попереджувати несанкціоновані дії в акваторії порту (проникнення порушників або встановлення несанкціонованого обладнання).

На даний час в Україні контроль за станом підводних об'єктів та середовищем у цілому здійснюється дуже слабо. Для моніторингу стану підводної частини гідротехнічних споруд зазвичай застосовують водолазів та прив'язні підводні апарати (ППА) [1].

Використання водолазів при проведенні таких типів робіт є дуже витратним. Крім того, за несприятливих погодних умов не можна задіювати водолазів, оскільки це може призвести до погіршення стану людини внаслідок непередбачуваних обставин.

Застосування ППА для огляду гідротехнічних споруд значно спрощує проведення таких видів робіт, оскільки не потребує спеціалізованого навчання персоналу та виключає присутність людини під водою. Основною проблемою таких засобів моніторингу є їх керування в ручному режимі, оскільки автоматизація

даного процесу ускладнюється наявністю кабель-троса, який може заплутатися за сторонні підводні об'єкти.

Для вирішення задач картографування фарватеру використовуються надводні катери з встановленим ехолотом або гідролокатором бокового огляду. Такі роботи проводяться також вручну, що не завжди зручно і потребує багато часу.

Для виявлення порушників застосовуються гідроакустичні станції та магнітометричні засоби виявлення [2]. Недоліками гідроакустичних станцій є невелика дальність роботи на мілководних акваторіях та акваторіях зі складним рельєфом дна [3]. Магнітометричні засоби виявлення порушника можуть виявити лише порушників, у яких є феромагнітні елементи (наприклад, спорядження драйверів), але вони зовсім не пристосовані до технічних засобів без феромагнітних матеріалів, такі, як підводні апарати.

Тому для комплексного засобу висвітлення підводної обстановки в портах пропонується використання автономних підводних апаратів з радіобуєм (АПА-РБ) [4] (рис. 1).

У роботі для виконання підводних місій на мілководді в інтересах українських організацій пропонується застосовувати АПА-РБ з динамічно змінюваною у процесі експлуатації довжиною кабеля-буксира (КБ). Пропонований архітектурно-конструктивний тип підводного апарата містить як зовнішнє націпне обладнання буксирований радіобуй (РБ), який розташований у верхній кормовій частині АПА та має змогу автоматично відстикуватися від нього, рухатися поверхнею моря в буксирувальному режимі для забезпечення двостороннього зв'язку з береговим (БПК) або судновим (СПК) постом керування, а також автоматично пристиковуватися до АПА після завершення місії. Керовану зміну довжини КБ для вказаних режимів забезпечує автоматична лебідка КБ, яка розташована на АПА.

До особливостей використання такого апарата належать:

- можливість оперативної передачі інформації на пост керування;
- виключення рутинної роботи людини в процесі моніторингу шляхом автоматизації процесу керування підводним рухом у зв'язку з невеликою довжиною КБ, що значно зменшує ймовірність заплутування;
- можливість дообстеження виявлених об'єктів у ручному та автоматичному режимах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Задачі висвітлення підводної обстановки з метою виявлення порушників на цей є дуже актуальними та активно розробляються провідними морськими країнами світу [2; 3; 5–7]. У більшості випадків для захисту від проникнення в товщі води використовуються статичні засоби (гідроакустичні та магнітометричні станції) [2; 5; 6]. Також для забезпечення захисту пропонують застосовувати ППА як засоби оперативного висвітлення підводної обстановки в портах [3; 7; 8]. Однак задачі автоматизації процесу висвітлення обстановки такими апаратами не розглядаються. У зарубіжній літературі одним з вирішення даної проблеми пропонується використання телекерованих катерів [9].

Застосування АПА-РБ на даний час висвітлено дуже мало [4]. Даний тип апаратів є новим та дає змогу виконувати комплексний моніторинг підводного середовища.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ — проведення аналізу ефективності використання АПА-РБ для задач моніторингу портових акваторій України.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

При висвітленні підводної обстановки можна виділити основні типи задач, які повинен виконувати АПА-РБ:

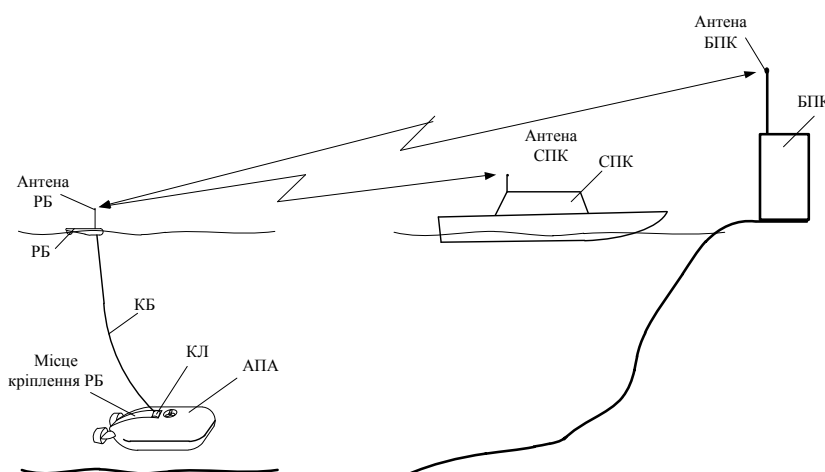


Рис. 1. Технологія застосування АПА РБ

– обстеження та документування донної поверхні в заданій акваторії;

– обстеження й документування протяжних предметів, які лежать на ґрунті;

– обстеження і документування точкових об'єктів;

– обстеження та документування вертикальних об'єктів (гідротехнічні споруди, стінки затонулого судна, скальні виступи рельєфу й т. д.);

– картографування мілководних морських акваторій і внутрішніх водойм (річок, водосховищ, лиманів тощо);

– обстеження товщі води для виявлення порушників або екологічного стану.

За характером обстеження висвітлення підводної обстановки може бути одноразовим (обстеження при виникненні аварійної ситуації), періодичним (обстеження стану донної поверхні та гідротехнічних споруд) або постійним (охорона від проникнення).

Характеристика об'ємів роботи для підводного апарату в цілому залежить від обладнання, що використовує підводний апарат, та способу руху апарату (рис. 2). Одним з розповсюджених засобів висвітлення підводної обстановки є відеокамера, оскільки її ціна значно менша за гідроакустичні засоби моніторингу.

Найбільш розповсюдженим способом руху апарата при висвітленні підводної обстановки є повздовжні галси. Для визначення часу роботи в даному режимі спочатку необхідно визначити довжину пройденого шляху L АПА-РБ. Для моніторингу площі складної форми уявімо, що вона обмежена двома криволінійними функціями $F_1(x)$ та $F_2(x)$ — див. рис. 2, а.

Відстань між галсами dx визначається шириною захвату відеокамери (з необхідним перекриттям смуги обстеження та документування), а кількість галсів визначається за формулою

$$n = \frac{La}{dx} - 1.$$

Таким чином, розділивши всю акваторію на окремі частини, загальну довжину, яку необхідно пройти апаратом, можна визначити так:

$$F_1(x)_i - F_2(x)_i + \sum_{i=0}^{n-1} \begin{cases} \sqrt{dx^2 + (F_2(x)_i - F_2(x)_{i+1})^2} & \text{при } i \in 0, 2, 4, 6 \dots \\ \sqrt{dx^2 + (F_1(x)_i - F_1(x)_{i+1})^2} & \text{при } i \in 1, 3, 5, 7 \dots \end{cases} \quad (1)$$

Для відкритих акваторій формула (1) набуде вигляду

$$L = \sum_{i=0}^n F_1(x)_i + \sum_{i=0}^{n-1} \begin{cases} dx & \text{при } i \in 0, 2, 4, 6 \dots \\ \sqrt{dx^2 + (F_1(x)_i - F_1(x)_{i+1})^2} & \text{при } i \in 1, 3, 5, 7 \dots \end{cases}$$

Для причальних конструкцій прямокутної форми (1) спростимо наступним чином: $F_1(x) = \text{const} = H$ — глибина біля причалу; $F_2(x) = 0$. Таким чином, отримаємо формулу

$$L = n(H + dx) - dx.$$

Перевагами такого методу висвітлення підводної обстановки є простота керування АПА-РБ.

Наступним методом руху апарата при висвітленні підводної обстановки є метод концентричної сітки (див. рис. 2, б), коли апарат рухається контуром заданої акваторії зі зменшенням радіуса. Відстань між кільцями відповідає ширині захвату відеокамери (з перекриттям).

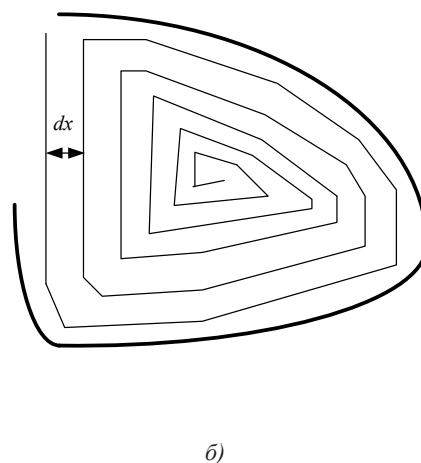
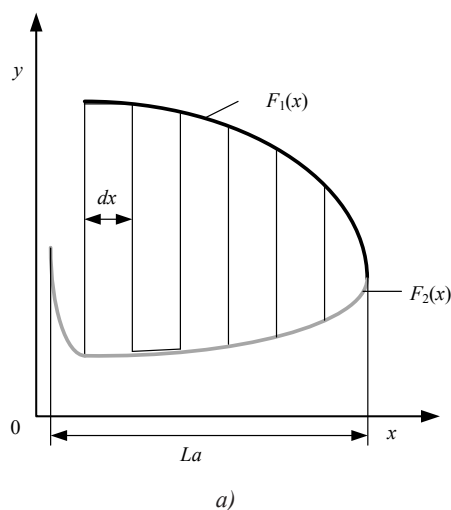


Рис. 2. Методи руху для обстеження площі:

а — проходження повздовжніми галсами; б — проходження за допомогою концентричної сітки

Оскільки в даному випадку не проводиться сканування однієї і тієї ж частини площі, то відстань можна виміряти спираючись лише на загальну площу акваторії S . Отже, загальна довжина пройденого апаратом маршруту буде складати:

$$L = \frac{S}{dx}.$$

Для визначення загального часу обстеження маршрут необхідно розбити на m частин, якими апарат рухається з рівною швидкістю. Таким чином, залежність для визначення загального часу буде мати вигляд

$$T = \sum_{j=0}^m \frac{v_j}{l_j},$$

де l_j — довжина частини шляху для руху з постійною швидкістю; v_j — швидкість на заданій частині шляху.

Проведемо аналіз ефективності АПА-РБ для морських портів України [10], задавшись наступними характеристиками:

- швидкість АПА-РБ 1 м/с;
- прозорість води 1 м (d);
- кут захвату відеокамери $\alpha = 60^\circ$;
- час автономної роботи 3 год;
- огляд причальних стінок буде проводитися методом повздовжніх галсів, а моніторинг акваторії — методом концентричної сітки;

– зона перекриття камери $\Delta = 0,3$ м.

Спираючись на вказані характеристики, ширина захвату відеозображення буде складати:

$$dx = 2 \frac{d}{\operatorname{tg}(\alpha)} - \Delta = 2 \frac{1}{\operatorname{tg}(60)} - 0,3 = 0,85 \text{ м.}$$

Таким чином, попередній аналіз ефективності АПА-РБ, що обладнані відеокамерами для висвітлення стану причальних стінок, зведено у табл. 1.

Огляд акваторій морських портів пропонується проводити методом концентричної сітки. Таким чином, розрахунок буде вестися відносно площі акваторії. Моніторинг акваторії буде проводитися за допомогою засобів гідроакустики із захопленням донної площі шириною захвату 50 м та зоною перекриття 10 м. Результати розрахунку наведені у табл. 2.

Підвищення ефективності обстеження даних акваторій може бути забезпечено використанням одночасно декількох підводних апаратів. Дана технологія може застосовуватися двома способами:

- розділенням зони відповідальності між декількома апаратами, що зменшить площу обстеження для кожного апарата;
- використанням декількох апаратів у режимі ведучий-ведений з перекриттям зони видимості, що збільшить зону захвату dx .

Таблиця 1. Ефективність АПА-РБ для огляду причальних стінок морських торгових портів України

№ з/п	Порт	Загальна довжина причалу, м	Середня глибина причалу, м	Загальний час огляду, год	Кількість заходів АПА
1	Білгород-Дністровський морський торговельний порт	1275	5,5	2,7	1
2	Бердянський морський торговельний порт	1511	7,9	4,4	2
3	Дніпро-Бугський морський порт	810	9,4	2,8	1
4	Морський торговельний порт «Чорноморськ»	962	13,5	4,6	2
5	Маріупольський морський торговельний порт	3693	9,3	12,3	5
6	Миколаївський морський порт	2940	10,3	10,8	4
7	Одеський морський торговельний порт	6664	9,65	22,9	8
8	Очаківський морський порт	726	4,1	1,2	1
9	Скадовський морський порт	792	5,5	1,7	1
10	Херсонський морський торговельний порт	1262	6,2	3,0	1
11	Морський торговельний порт «Південний»	2196	14,0	10,7	4

Таблиця 2. Аналіз ефективності патрулювання АПА-РБ гідроакустичними засобами

№ з/п	Порт	Загальна площа акваторії, м ²	Загальний час огляду, год	Пройдений апаратом шлях, м	Кількість заходів АПА
1	Білгород-Дністровський морський торговельний порт	590400	4,1	14760	2
2	Бердянський морський торговельний порт	414550	2,9	10363,8	1
3	Дніпро-Бугський морський порт	980000	6,9	24500	3
4	Миколаївський морський порт	693000	4,9	17325	2
5	Одеський морський торговельний порт	1410000	9,8	35250	4
6	Очаківський морський порт	122000	0,9	3050	1

ВИСНОВКИ. Запропоновано методологію визначення часу обстеження акваторій різної форми із застосуванням автономних підводних апаратів з радіобуєм. Проведено аналіз тривалості моніторингу портових акваторій України та визначено необхідну кількість занурень АПА-РБ при дослідженні при-

чальних стінок за допомогою відеокамер й огляду всієї акваторії гідроакустичними засобами.

Отримані результати розрахунку можуть слугувати основою для розробки технічного завдання на побудову АПА-РБ, призначеного для висвітлення підводної обстановки на мілководних акваторіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Блінцов, О. В., & Гріцаєнко, М. Г. (2014). Телекеровані підводні апарати на службі морегосподарської діяльності Миколаївщини. *Shipbuilding & marine infrastructure*, 1, 28-33.
- [2] *Системы охраны и защиты акватории*. Получено с <http://www.trancons.ru/information/stati-i-publikacii/sistemy-ohrany-i-zaschity-akvatorii>.
- [3] Андерсон, М. Э. *Методы и средства защиты от подводных диверсантов*, пер. М. Л. Антокольский. Получено с <http://www.akvilona.ru/news/anti-frogman.htm>.
- [4] Сірівчук, А. С. (2017). Аналіз засобів висвітлення підводного середовища в портових акваторіях. XV науково-технічна конференція. Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах. Чернігів, Україна, 11-12.09.
- [5] Щербак, Г. Н., Шлыков, Ю. А., & Бровин, А. В. (2008). Защита важных объектов от подводного терроризма. *Спецтехника*, 2. Получено с <http://www.bnti.ru/aprintit.asp?aid=966>.
- [6] Федяев, С. Л., Миткевич, В. С., Козлов, С. А., & Маркевич, П. А. (2012). Система активной защиты объектов особой важности, имеющих выход к акватории. *Спецтехника и связь*, 2, 26-33. Получено с <http://cyberleninka.ru/article/n/sistema-aktivnoy-zaschity-obektov-osoboy-vazhnosti-imeyuschih-vygod-k-akvatoriyam>.
- [7] Сиденко, К. С., & Голобоков, С. А. (2008). Защита портов и одиночных судов с помощью необитаемых подводных аппаратов. *Морской Флот*, 5, 28. Получено с <http://www.morflot.su/archives/articles1811file.pdf>.
- [8] Блинцов, В. С., & Костенко, Ю. К. (2013). Автоматизированная система мониторинга гидротехнических сооружений водных транспортнх. *Портові технології та техніка мореплавання: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*. Миколаїв: НУК, 152-155.
- [9] Kasum, J., Vidan, P. & Baljak K. *Act about safety protection of merchant ships and ports open to international traffic and its implementation*. Retrieved from <https://bib.irb.hr/datoteka/326007.portoro.pdf>.
- [10] *Морские порты Украины*. ООО СИФ-СЕРВИС, агентирование судов и экспедиционное грузов в Украине, трудоустройство моряков. Получено с <http://www.sifservice.com/index.php/informatsiya/porty-ukrainy/morskie-porty>.

© В. С. Блінцов, А. С. Сірівчук

Надійшла до редколегії 17.04.2019

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. Л. Тимченко