

## СУПУТНИКОВІ КОМПАСИ У СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ НАВІГАЦІЇ СУДЕН

О.М. Мельник<sup>1</sup>, К.С. Корякін<sup>2</sup>, О.В. Логінов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к. т. н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,  
капітан далекого плавання,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-9886-6069

<sup>2</sup>старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-2388-645X

<sup>3</sup>к. т. н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-4540-731X

### Анотація

**Вступ.** Перевезення вантажів з використанням морського транспорту має надзвичайно довгу історію, яка безперервно продовжується і сьогодні, набуваючи нових особливостей, пов'язаних з технічним розвитком суден, удосконаленням технології перевезення вантажів, інтенсивною трансформацією зовнішнього середовища. Обладнання сучасних морських суден навігаційним устаткуванням, радіообладнанням, рятувальними та протипожежними засобами та пристроями відбувається за певних правил та підлягає строгому нагляду щодо відповідності всім наявним на поточний момент міжнародним вимогам і стандартам з метою забезпечення безпечної практики експлуатації суден, що досягається шляхом належного використання всіх технічних приладів і систем. **Метою цієї роботи** є дослідження характеристик і особливостей застосування електронних засобів супутникової навігації, визначення перспектив використання альтернативних засобів курсовказання, таких як супутникові компаси, їх функціональних можливостей з метою підвищення ефективності процесу судноводіння і забезпечення безаварійної експлуатації суден. **Результати.** У представленій роботі розкриваються практичні та теоретичні аспекти використання систем супутникової навігації, зокрема впровадження таких альтернативних засобів курсовказання, як супутникові компаси. **Висновки.** У ході дослідження встановлено, що характеристики та функціональні можливості супутникових пристроїв курсовказання здатні не тільки підвищити ефективність процесу судноводіння, але й забезпечити безаварійну експлуатацію суден, що додатково підтверджує їх актуальність. Поширене використання супутникових компасів як невід'ємної частини навігаційного обладнання сучасних суден значно спрощує процес судноводіння і дає можливість швидко і точно визначити необхідні параметри руху судна.

**Ключові слова:** супутникові компаси, курсовказання, судноводіння.

SATELLITE COMPASSES  
IN THE SAFETY CONTROL SYSTEM OF SHIP NAVIGATION

O.M. Melnyk<sup>1</sup>, K.S. Koriakin<sup>2</sup>, O.V. Lohinov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, associate professor  
of Navigation and Maritime Safety department, Sea Captain,  
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-9886-6069

<sup>2</sup>Senior Lecturer at the Department of Navigation and Maritime Safety,  
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0003-2388-645X

<sup>3</sup>PhD in Engineering,  
associate professor of Navigation and Maritime Safety department,  
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-4540-731X

**Summary**

**Introduction.** Transportation of cargo by sea transport has a very long history, which uninterruptedly continues today, gaining new features associated with the technical development of ships, cargo transportation technology, and intensive transformation of the environment. Modern ships are equipped with navigation, radio equipment and firefighting equipment and devices provided in accordance with certain rules and are subject to strict monitoring for compliance with all current international requirements and standards in order to ensure safe ship operation practices, achieved through the proper use of all technical devices and systems on board. **The purpose** of this work is to investigate the features and characteristics of using electronic means of satellite navigation, identifying the prospects for alternative means of course indication such as satellite compasses, analysis of their functional capabilities with the purpose of increasing the efficiency of ship navigation and ensuring failure-free operation of vessels. **Results.** This paper discloses practical and theoretical aspects of using satellite navigation systems, including the implementation of alternative devices such as satellite compasses. **Conclusions.** The article reveals that the characteristics and functional capabilities of the satellite course indication devices are able not only to increase the efficiency of ship navigation but also to provide trouble-free operation of ships, which additionally confirms their relevance and outlines perspectives of satellite compasses as an integral part of the navigation equipment of modern ships, which significantly simplifies the process of ship navigation and makes it possible to quickly and accurately determine the necessary parameters of the ship's motion.

**Key words:** satellite compasses, heading, ship navigation.

**Постановка проблеми.** Забезпечення безпеки процесу судноводіння та вирішення завдань навігації на сучасних суднах досягається шляхом використання технічних засобів та навігаційного обладнання, якими укомплектовано кожне судно відповідно до правила 19 глави V Конвенції СОЛАС-74. Завдяки саме сучасним технологіям та процесам автоматизації передові системи навігаційного обладнання здатні надавати поточні дані та інформацію про рейс. Як приклад, сучасні системи онлайн-моніторингу суден дозволяють судновласникам здійснювати

спостереження за власним флотом, отримуючи інформацію про конкретні судна в режимі реального часу, не чекаючи на отримання щоденних звітів. Оператори та судновласники мають змогу не лише отримувати онлайн-інформацію про рейс судна та його географічне положення на карті, табличне представлення основних технічних параметрів суден.

Альтернативні засоби визначення напрямку руху об'єктів, такі як супутникові компаси, забезпечують високоточну інформацію про орієнтацію і курсовказання для навігаційного обладнання, такого як радары, картплотери та авторульові. Вони призначені для оброблення інформації про параметри орієнтації та навігації морських суден у режимі корекції за даними супутників та в автономному режимі у разі короткочасних перерв у надходженні супутникових сигналів. Компаси можуть використовуватися для широкого спектра програм на будь-якому типі судна, в якому використовуються технології глобального позиціонування. На характеристики роботи супутникового компаса не впливають швидкість судна, широта, геомагнетизм тощо. Тому дослідження, що спрямовані на процеси інтеграції технології GPS, які забезпечують точну та стабільну інформацію про курс судна, є актуальним і важливим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичним та практичним питанням експлуатації електронавігаційних приладів, що встановлюються на сучасних морських судах присвячені праці [1; 6; 7]. У [2; 5] представлено порівняльний аналіз сучасних систем курсовказання морських суден та перспективи використання новітніх систем курсовказання на морському флоті. Функціональні можливості та технічні особливості сучасних супутникових компасів досліджено в [3; 4]. Загальні принципи побудови навігаційних систем, напрями підвищення якості їхньої роботи та використання супутникових навігаційних систем для оцінки повного кута дрейфу судна в обмежених зонах розглянуті у [8–10]. У [11–13] досліджено оцінку потенційного негативного впливу системи факторів на експлуатаційний стан судна та актуальні проблеми безпеки міжнародного судноплавства. У результаті огляду останніх досліджень та публікацій дійшли висновку щодо необхідності вивчення принципів функціонування та особливостей використання супутникових компасів.

**Виклад основного матеріалу.** Суднові системи курсовказання призначені для визначення напрямку руху судна. Для вирішення цього завдання в процесі судноводіння використовуються компаси різних типів: магнітний, гіроскопічний або супутниковий, що вказують напрямки на відповідні полюси. На відміну від магнітного компаса, на гірокомпас, як механічний прилад, не впливає зовнішнє магнітне поле Землі, він використовується для визначення істинного географічного меридіану, а його ретрансляторна система також встановлена на рульовій платформі для забезпечення аварійного керування. За компасом призначається та утримується курс судна, беруться пеленги на берегові орієнтири, визначаються курсові кути, напрям вітру та течії. Компас використовується в умовах морського плавання, на великих озерах, річках та водосховищах. Як головне, без компаса неможливо утримувати правильний напрямок руху судна в умовах поганої видимості (туман, снігопад тощо) та в умовах втрати видимості берегових орієнтирів.

Аналізуючи дані страхових компаній за окреме п'ятиріччя з 2011 по 2016 рік, встановлено, що аварії, спричинені людським фактором, становлять понад 75 відсотків,

але не менш істотною причиною разом з пожежами є незадовільний технічний стан та відмова обладнання і механізмів. У даних за 2021 рік у переліку причин аварійності світового флоту ця позиція посіла четверте місце. Тому одним із заходів забезпечення надійної роботи складних систем та приладів навігаційного містка є їх дублювання, що у разі відмови передбачає безперебійне забезпечення процесів керування судном. Також, без сумніву, слід враховувати ймовірність виникнення помилок від неправильних дій екіпажу або людського елемента.



Рис. 1. Основні причини претензій за даними страхових компаній (за даними Глобального центру ризиків Allianz)

Аналіз більшості аварій вказує на те, що належні дії щодо вчасного виявлення та виправлення помилок могли б запобігти виникненню аварій. Тому, порівнюючи випадки відмови найважливішого або критичного обладнання і механізмів з помилками внаслідок людського фактора, можна стверджувати, що в обох випадках дублювання запобігло б небажаним наслідкам.

Останнім часом з розвитком сучасних технологій усе більшого поширення набувають системи супутникового курсовказання. Середньо-орбітальні навігаційні супутникові системи дозволяють отримувати інформацію не тільки про координати і складники шляхової швидкості судна, але також здійснювати його курсовказання. З цією метою використовуються двох-, трьох- або чотирьохантенні системи. Великою мірою для отримання значення поточного курсу судна необхідно мати тільки дві антени. Третя антена дозволяє разом з курсом судна визначити кути кільової і бортової хитавиці та поліпшувати точність вимірювання курсу, зменшуючи негативний вплив як хитавиці, так і рискання судна. Зображення трьохантенної системи представлено на рис. 2.

Розуміння принципу визначення курсу судна за допомогою даних GPS запропоноване у [7] на прикладі використання двох антен A1, A2, розташованих у діаметральній площині судна на відстані  $b$ , що становить у реальних супутникових датчиків курсу близько 85 см (рис. 3).

Передача сигналів навігаційними штучними супутниками Землі (НШСЗ) у системі GPS виконується на двох частотах:  $F1 = 1575,42$  і  $F2 = 1227,60$  МГц. Бортова апаратура GPS для цивільних суден використовує тільки загальнодоступний C/A-код, яким модулюється частота  $F1$ . Довжина хвилі цієї несучої частоти становить приблизно 19 см. За позиційними визначеннями координат судна

і по ефемеридах супутників завжди можуть бути розраховані горизонтні координати НШСЗ: висота  $h_s$  і азимут  $A_s$ . На рис. 3 ці координати вказані для одного із супутників. Відстані, які проходить сигнал з певного супутника до антен  $A_1, A_2$ , відрізняються на величину  $D$ . Цю різницю відстаней можна знайти, вимірявши величину зсуву фаз несучого сигналу, що приймається антенами. Втім фазовим вимірюванням властива багатозначність, тому вимірюється тільки його дрібна система, а число циклів має бути визначено за допомогою додаткових даних. Тому, маючи значення відстані  $D$  і висоти супутника  $h_s$  над істинним горизонтом, можна знайти курсовий кут  $q_s$  супутника і істинний курс судна  $K$ :

$$A_2 F = \Delta D \cos h_s; q_s = \arccos \frac{A_2 F}{b}; K = A_s - q_s. \quad (1)$$

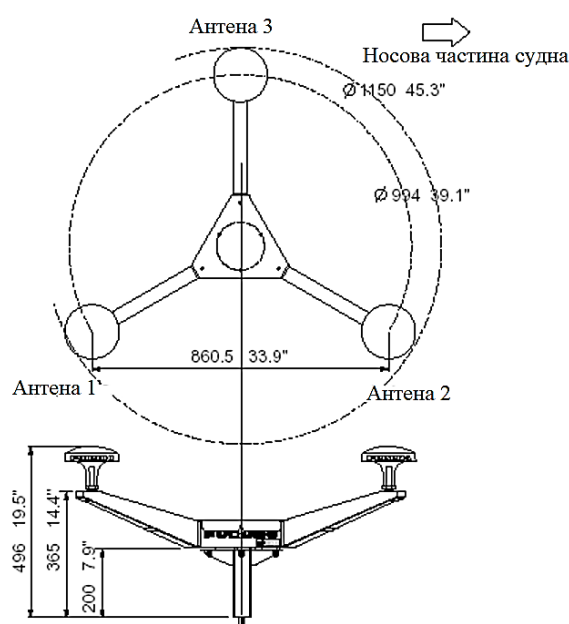


Рис. 2. Габаритні розміри антенної системи супутникового компаса

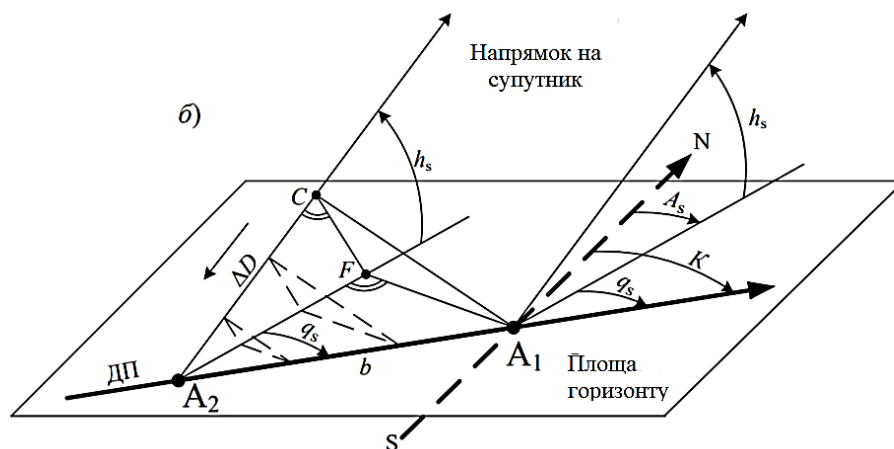


Рис. 3. Горизонтні координати для одного супутника [7]

Значення курсу судна визначаються за всіма супутниками, що знаходяться над горизонтом, і осереднюються [6]. Для обчислення координат судна за навігаційними сигналами супутників GPS (система глобального позиціонування) в тривимірному просторі необхідно виміряти дистанції не менше ніж до 4, а у разі двомірної навігації – не менше ніж до 3 супутників. Для отримання додаткових координат істинного курсу судна число супутників, до яких вимірюються відстані, має бути на один більше, позаяк кількість зумовлених параметрів збільшується на одиницю. Крім координат і постійної похибки відстані, тут потрібно також знайти значення цілого числа циклів  $n$  [4].

На рис. 4 представлений зв'язок між координатами антен першого і другого прийомоіндикаторів з істинним курсом (ІК) судна [13].

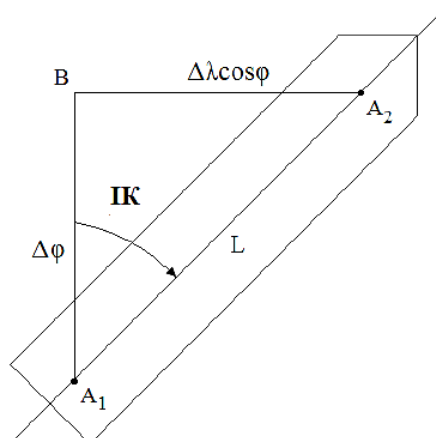


Рис. 4. Зв'язок координат двох супутникових антен  $A_1$  і  $A_2$ , розташованих у діаметральній площині судна

Використовуючи чотири окремі антени ГНСС (глобальної навігаційної супутникової системи) для максимальної швидкості відгуку, супутниковий компас удосконалює новітні стандарти надійності і точності курсовказання серед наявних засобів морської навігації.

Традиційно супутникові компаси розраховують курс, використовуючи одну вихідну лінію між двома антенами; чотири антени можуть розраховувати інформацію про значення курсу, використовуючи будь-яку з шести вихідних ліній, прокладених між чотирма антенами. Безпрецедентна конструкція чотирьохантенної системи дозволяє також обчислювати надзвичайно точну інформацію про курс, кути поздовжнього і поперечного нахилу, що є ідеальним рішенням для складних судових приладів, де іноді може бути утруднений доступ та огляд супутників (рис. 5).

До стандартної комплектації супутникового компасу входить три антени, розміщені на жорсткій платформі, що повинні бути встановлені з високою точністю, основний модуль та пристрій управління і відображення. Лінія, що з'єднує антени цих приймачів, є опорною для визначення курсу судна через координати, отримані з кожного з цих приймачів. Систематична похибка координат кожного з цих приймачів не робить впливу на точність визначення опорного напрямку і, як наслідок,

на точність курсовказання. Використання фактично різницевого методу дозволяє виключити погрішності швидкості поширення радіохвилі, похибки вимірювання елементів орбіти та інші систематичні похибки. Збільшення відстані між антенами дозволяє збільшити точність компаса. На практиці базова відстань між антенами перебуває в діапазоні від 0,8 до 4 метрів [13].

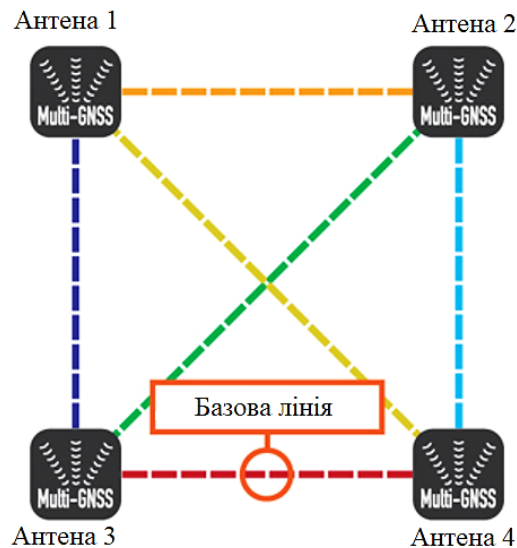


Рис. 5. Чотирьохантенна система позиціонування

В основному модулі розташовуються приймач GPS, вільний гіроскоп, процесор. Як зазначено вище, супутниковий компас представляє інформацію про координати судна, курс, шляхові кути, кутову швидкість, кути бортової і кільової хитавиці. По суті він є датчиком параметрів кінематичного стану судна.

Такий курсовказівник може відображати дані в трьох формах, призначених для таких завдань:

- керування судном (курс, рухома картушка з нерухомим індексом курсу, шляхова швидкість, шляховий кут, кути кільової і бортової хитавиці);
- представлення навігаційної інформації (дата, час, координати місця судна, шляхова швидкість і шляховий кут);
- вказання напрямку діаметральної площині судна (дата, час, курс, шляхова швидкість і шляховий кут).

Додатково супутниковий компас здатний передавати інформацію про курс судна в такі пристрої, як РЛС (радіолокаційна станція), ЗАРП (засоби автоматичної радіолокаційної прокладки), авторульовий, АІС (автоматична ідентифікаційна система), ЕКНІС (електронна картографічна система) та в іншу апаратуру.

Супутниковий компас, як правило, має такі базові характеристики, як:

- середня квадратична похибка (СКП) показань курсу –  $\pm 0.50$  град.;
- СКП показань кута бортової (кільової) хитавиці –  $\pm 0.50$  град.;
- точне стеження за курсом у разі швидкості повороту – до 25 град./с;
- час приходу в готовність після включення – 4 хв;
- 95 % похибка визначення місця судна по GPS –  $\pm 10$  м;

– 95 % похибка визначення місця судна по DGPS –  $\pm 5$  м.

До особливих переваг супутникових компасів можна віднести те, що компас не потребує технічного обслуговування, висока точність курсу 0,4 град. ідеально підходить для невеликих і середніх за розміром суден. Отримання максимальної точності дозволяється за рахунок використання таких ГНСС, як Галілео і ГЛОНАСС, тому завдяки прийому сигналів від супутників різного типу виключається проблема відсутності сигналу через недостатню кількість супутників. Швидка ініціалізація усього протягом 90 с та зручне підключення до наявної суднової мережі через Ethernet (технологія організації локальних мереж). Також необхідно відзначити високу швидкість стеження 40 град./с, що в два рази перевищує значення згідно з вимогами для високошвидкісних суден, високоточні дані впливу бортової та кільової хитавиці в аналоговому і цифровому форматах для стабілізаторів та гідролокаторів, контроль швидкості переміщення носової і кормової частини судна для здійснення безпечного швартування.

Щодо головних недоліків супутникових компасів, то сюди можна віднести його неавтономність, тобто залежність від сигналів, прийнятих із супутників системи ГНСС. Додатково треба зауважити, що супутниковий компас поки не є конвенційним приладом, тому необов'язковий для встановлення на морських суднах, проте він знаходить усе більш широке застосування. Також у загальному випадку показання супутникового компасу менш точні, ніж у гіроскопічного, але більш достовірні і не такою мірою схильні до факторів зовнішнього середовища, характеристик судна і процесів обробки кінематичних даних.

**Висновки.** З огляду на вищезазначені переваги, характеристики та функціональні можливості таких пристроїв необхідно зауважити, що супутникові компаси в майбутньому будуть невід'ємною частиною навігаційного обладнання сучасних суден. Вони значно спрощують забезпечення процесу судноводіння і дають можливість швидко і точно визначати необхідні параметри руху судна. Однак важливо пам'ятати, що впровадження новітніх технічних засобів відволікає увагу судноводія від процесу підтримки постійного рівня безпеки, тому завдання, що потребують рішення, – це забезпечення належного рівня взаємодії судноводіїв та ресурсів навігаційного містка, системи управління безпекою та помилками. Розроблення комплексного підходу у системі підготовки фахівців з метою мінімізації ризиків та впливу людського фактора на безпеку мореплавства є також важливим кроком в умовах використання сучасної техніки та комп'ютеризації в процесах керування рухом судна.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Технические средства судовождения. Т. 2. Конструкция и эксплуатация / Смирнов Е. Л., Яловенко А. В., Перфильев В. К. и др. Санкт-Петербург, 2000. 656 с.
2. Подпорін С. А. Сравнительный анализ современных систем курсоуказания морских судов. СевНТУ, 2009. 12 с.
3. FURUNO Operator's manual. Супутниковий компас модель SC-70. URL: <https://www.nav-tech-msk.ru/index.php?productID=1102> (дата звернення: 26.12.21).



4. SATELLITE COMPASS ModelSCX-21. URL: <https://www.furuno.com/en/products/compass/SCX-21> (дата звернення: 26.12.21).
5. Жерлаков А. В., Маринич А. Н., Устинов Ю. М. Перспективы использования новых систем курсоуказания на морском флоте. *Эксплуатация морского транспорта*. 2006. № 2. С. 28–31.
6. Вагущенко Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении : электронное учебное пособие. Одесса, 2013. 135 с.
7. Чапчай П. А. Технические средства судовождения : учебное пособие. Одесса, 2019. 298 с.
8. Dobryakova L., Lemieszewski L., Luszniakov E., Ochyn E. The application of satellite compass for GNSS-spoofing detecting. *Zeszyty Naukowe, Maritime University of Szczecin*. 2014. No. 37. С. 28–33.
9. Сурков В. О. Общие принципы построения навигационных систем и направления повышения качества их работы. *Молодой ученый*. 2014. № 9 (68). С. 211–214. URL: <https://moluch.ru/archive/68/11680/> (дата звернення: 11.01.2021).
10. Jurdzinski M. Wykorzystanie systemów nawigacji satelitarnej do oceny całkowitego kąta znosu statku w rejonach ograniczonych. *2 Sympozjum "Nawigacja zintegrowana"*, Szczecin. 2000. С. 151–157.
11. Onyshchenko S., Shibaev O., Melnyk O. Assessment of potential negative impact of the system of factors on the ship's operational condition during transportation of oversized and heavy cargoes. *Transactions on Maritime Science*. 2021. No. 10 (1). DOI: 10.7225/toms.v10.n01.009
12. Melnyk O., Onyshchenko S., Koryakin K. Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series "Transport"*. 2021. No. 113, pp. 145–153. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>
13. Мельник О. М., Щербина О. В., Корякин К. С., Бурлаченко Д. А. Огляд та перспективи використання сучасних систем курсоказання на морських суднах для забезпечення навігаційної безпеки. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2021. № 21. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21>

#### REFERENCES

1. Smyrnov, E. L. (2000). Technical means of navigation. Vol. 2. Design and operation [Tekhnichni zasoby sudnovodinnia. T. 2. Konstruktsiia i ekspluatatsiia]. Sankt-Peterburg. [in Russian]
2. Podporin, S. A. (2009). Comparative analysis of modern ship heading systems [Sravnitelnyi analiz sovremennykh system kursoukazaniya morskikh sudov]. SevNTU. [in Russian]
3. FURUNO Operators manual. Suputnykovyi kompas model SC-70. Retrieved from: <https://www.nav-tech-msk.ru/index.php?productID=1102>
4. SATELLITE COMPASS ModelSCX-21. Retrieved from: <https://www.furuno.com/en/products/compass/SCX-21>

5. Zherlakov, A. V. (2006). Prospects for the use of new directional guidance systems in the maritime fleet [Perspektyvy ispolzovaniya novykh system kursoukazaniya na morskoy flote]. *Operation of maritime transport*. No. 2, 28–31. [in Russian]
6. Vahushchenko, L. L. (2013). Modern Information Technology in Navigation [Sovremennyye informatsyonnyye tekhnolohyy v sudovozhdenyy]. Odesa, ONMA.
7. Chapchai, P. A. (2019). Technical means of navigation [Tekhnicheskyye sredstva sudovozhdeniya]. Odesa.
8. Dobryakova, L. (2014). The application of satellite compass for GNSS-spoofing detecting. *Zeszyty Naukowe, Maritime University of Szczecin*. 37, 28–33.
9. Surkov, V. O. (2014). General principles of navigational systems and directions for improving their performance [Obshchyye pryntsypy postroyeniya navyhatsyonnykh system i napravleniya povysheniya kachestva ikh raboty]. *Young scientist*. 9 (68), 211–214.
10. Jurdzinski, M. (2000). Wykorzystanie systemów nawigacji satelitarnej do oceny całkowitego kąta znosu statku w rejonach ograniczonych. 2 Sympozjum “Nawigacja zintegrowana”, Szczecin. 151–157.
11. Onyshchenko, S., Shibaev, O., Melnyk, O. (2021). Assessment of Potential Negative Impact of the System of Factors on the Ships Operational Condition During Transportation of Oversized and Heavy Cargoes. *Transactions on Maritime Science*. 10 (1). DOI: 10.7225/toms.v10.n01.009
12. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Koryakin, K. (2021). Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 113, 145–153. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>
13. Melnyk, O. M., Shcherbyna, O. V., Koriakin, K. S., Burlachenko, D. A. (2021). Overview and prospects of using modern ship navigation systems for ensuring navigational safety [Ohliad ta perspektyvy vykorystanniya suchasnykh system kursovkazanniya na morskyykh sudnakh dlia zabezpechenniya navihatsiinoi bezpeky]. *Scientific News of the Dahl University*. 21. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21>