

УДК 656.61

БЕЗПЕКА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В УМОВАХ ПОГІРШЕНОЇ РОБОТИ СУПУТНИКОВОЇ РАДІОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Габрук Р. А., к.т.н., керівник проєктів ТОВ «Оверсіз Лоджистік», e-mail: grostyslav@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-5639-2475

У роботі розглянуто питання гарантування безпеки динамічного позиціонування рухомих об'єктів водного транспорту в умовах, коли на просторово-часовому проміжку здійснення високоточної навігації кількість видимих навігаційних супутників зменшується через специфіку виконуваної технологічної роботи або від того, що потужність сигналу навігаційних супутників супутникових радіонавігаційних систем серйозно послаблюється перешкодами від різних джерел. Метою дослідження є можливість гарантування безпеки ДП РОВТ в умовах, коли апаратура споживача не здатна прийняти сигналів достатньої кількості НС. Запропоновано альтернативний підхід визначення місця рухомого об'єкта водного транспорту. Визначено умови та фактори, котрі можуть погіршити роботу СРНС в акваторії при здійсненні розробки ресурсів шельфу України. Визначено перспективні напрями подальших наукових досліджень.

Ключові слова: система динамічного позиціонування, безпека мореплавства, судноводіння, рухомий об'єкт водного транспорту, супутникова радіонавігаційна система.

DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.004-009

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У світовій морській галузі існує багато практичних завдань, що вимагають надійного високоточного позиціонування різних видів рухомих об'єктів водного транспорту (РОВТ). Ці завдання здебільшого мають на меті як виконання конкретної технологічної роботи у сфері видобутку або розвідки вуглеводневих ресурсів континентального шельфу, так і забезпечення здійснення процесів високоточної навігації, яка стає необхідною складовою флоту двадцять першого століття і відкриває шляхи для подальшого розвитку світової морської галузі в бік створення дистанційно керованих людиною-оператором, а потім і автономних РОВТ під керуванням штучного інтелекту.

Динамічне позиціонування – це позиціонування РОВТ за допомогою активної тяги рушійного комплексу [1]. А його перевага в мобільності та можливості контролю руху порівняно з іншими видами позиціонування, що зумовлює економічну ефективність.

Система динамічного позиціонування (СДП) призначена для автоматичного утримання позиції РОВТ винятково за допомогою рушійного комплексу і вона є складовою бортового багатофункціонального комплексу навігаційного обладнання (ББКНО).

Аналіз перспективного розвитку флоту України однозначно вказує на те, що невід'ємною частиною вітчизняної сфери видобутку морських ресурсів континентального шельфу буде застосування РОВТ з СДП.

Зростання інтенсивності використання СДП визначає не тільки перспективу подальшого розвитку цього напрямку, а й ставить гостро питання безпеки РОВТ при здійсненні динамічного позиціонування (ДП). Постановою Верховної Ради України № 3938-ХІІ від 04.02.1994 р. Україна стала учасником Конвенції про Міжнародну морську організацію, а також нашій державі створено єдину систему управління безпекою на морським і річковим транспортом [2]. Саме тому безпеці на морі приділяється багато уваги і розробки та дослідження в цьому напрямі ведуться у профільних державних закладах.

При реалізації процесів високоточної навігації одним з основних завдань є визначення місцеположення РОВТ за сигналами радіонавігаційних систем, зокрема, супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). Подальший розвиток способів визначення параметрів руху при ДП та потреба в навігаційних приладах, що надійно працюють в умовах перешкод, свідчить про те, що наявні методи та засоби навігації потребують

подальшого розвитку з метою підвищення функціональної стійкості (надійності та ефективності) засобів визначення навігаційних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. На підставі аналізу технічної документації сучасних СРНС, можна зробити висновок, що конфігурації глобальних супутникових радіонавігаційних систем Navstar (США), ГЛОНАСС (Росія), COMPASS (Китай), Galileo (Європейський Союз), IRNSS (Індія), сформовані таким чином, що єдиним методом визначення навігаційних параметрів є метод псевдодальності [3].

В умовах збоїв або перешкод практично стає неможливим визначення навігаційних параметрів РОВТ за допомогою наявних стандартних методів вимірювання в СРНС. Наслідком цього, залежно від ступеня узгодженості всіх компонентів СРНС, можуть стати різні ситуації здійснення помилкових маневрів РОВТ при ДП у локально обмеженому просторі виконання технологічних робіт. Зрозуміло, що це неприпустимо ні в нормальних, ні тим більше в екстремальних умовах експлуатації РОВТ, враховуючи критерій безпеки людей, збереження вантажів, РОВТ.

У роботі [4] було запропоновано гарантувати безпеку мореплавства шляхом підвищення рівня знань судноводіїв щодо можливості гарантованого визначення місця РОВТ та його кінематичних параметрів.

Сформовано умову спостережуваності навігаційних параметрів для супутникових радіонавігаційних систем: тобто, як мінімум, має виконуватися така умова:

$$\det X_{\Delta} \neq 0 \quad (1)$$

Особливості матриці X_{Δ} залежать від геометричного фактору фактичного місцезнаходження НС у СРНС. Також можлива відсутність реальної спостережуваності навігаційних параметрів навіть у разі наявності в області видимості необхідної кількості НС, сигнали від яких можуть бути прийняті, оброблені, а отже, отримані значення координат НС.

Так для достовірності навігаційних визначень у будь-якій точці на поверхні Землі має виконуватися необхідна умова прямої видимості щонайменше чотирьох навігаційних супутників (НС). Проте при практичній експлуатації РОВТ з динамічними принципами позиціонування досить часто трапляються ситуації, коли приймач, установлений на РОВТ, не може прийняти радіосигнали від чотирьох НС будь-якої СРНС одночасно, що створює загрозу безпеці навігації при ДП і потребує подальших досліджень.

Постановка задачі. Метою дослідження є можливість гарантування безпеки ДП РОВТ в умовах, коли апаратура споживача не здатна прийняти сигналів достатньої кількості НС.

Викладення основного матеріалу дослідження. При аналізі можливості виникнення випадків, коли сигнали від НС можуть бути не прийнятими АС РОВТ при проведенні технологічних робіт, які пов'язані з ДП в акваторіях Чорного та Азовського морів можна стверджувати, що такими випадками є робота постачання морської стаціонарної платформи, самопідйомної плавучої бурової установки, які є найбільш перспективними технічними засобами освоєння вуглеводневих ресурсів вітчизняного шельфу. При виконанні роботи постачання РОВТ підходить близько до технічних засобів, які значно вище місця розташування антен АС. Тому НС у великому секторі (до 180 градусів) можуть бути закритими, а при використанні масивних кранів для підняття вантажів – цей сектор може бути розширено.

Також можна вважати, що сигнали можуть надходити зі значними затримками чи похибками. Кількість видимих НС може зменшуватись від того, що потужність сигналу НС СРНС серйозно послаблюється перешкодами. Сигнал СРНС також може бути послаблений чи пригнічений ненавмисними активними перешкодами, такими, як наземні радіоджерела, що працюють на близьких до сигналів НС, однакових або побічних частотах. Необхідно

окремо зазначити, що сигнал може бути послаблений навмисними активними перешкодами, що використовуються для кримінальних або військових цілей.

Для гарантування безпеки ДП у таких ситуаціях потрібно розширити функціональні можливості наземної інфраструктури СРНС, тобто АС, за допомогою нових підходів до визначення навігаційних параметрів. Зокрема, можна використовувати нові технічні рішення та алгоритми обробки сигналів НС, які не реалізовані в АС СРНС, але відомі та успішно застосовуються в радіотехнічних системах, що вирішують завдання активної та пасивної радіолокації, у фазованих антенних решітках, де застосовуються методи просторової обробки сигналів.

Для методу псевдодальності, який використовується у СРНС, відома система навігаційних рівнянь записується у вигляді:

$$\begin{cases} R_1^2 = (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 + c \cdot \Delta t; \\ R_2^2 = (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 + c \cdot \Delta t; \\ R_3^2 = (X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 + c \cdot \Delta t; \\ R_4^2 = (X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2 + c \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (2)$$

де R_1, R_2, R_3, R_4 – відомі вимірювані псевдодальності до першого, другого, третього і четвертого НС відповідно; X, Y, Z – невідомі координати в прямокутній глобальній системі координат з центром у центрі Землі (далі «прямокутна глобальна система координат»); $X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2, X_3, Y_3, Z_3, X_4, Y_4, Z_4$ – відомі координати відповідно першого, другого, третього і четвертого НС у глобальній прямокутній системі координат, які визначають із закодованого сигналу; c – швидкість світла у вакуумі; Δt – час неузгодженості системного часу СРНС і таймера апаратури споживача на борту РОВТ.

У загальному вигляді (2) можна переписати наступним чином:

$$\hat{R}_k = \sqrt{(X - X_k)^2 + (Y - Y_k)^2 + (Z - Z_k)^2} + c\Delta t, \quad k = 1, \dots, M \quad (3)$$

де \hat{R}_k – псевдодальність між РОВТ та k -м НС, X_k, Y_k і Z_k – координати k -го НС, що одержуються приймальним пристроєм.

На рис. 1 зображено просторові координати РОВТ та НС і основні залежності, які складають суть проблеми.

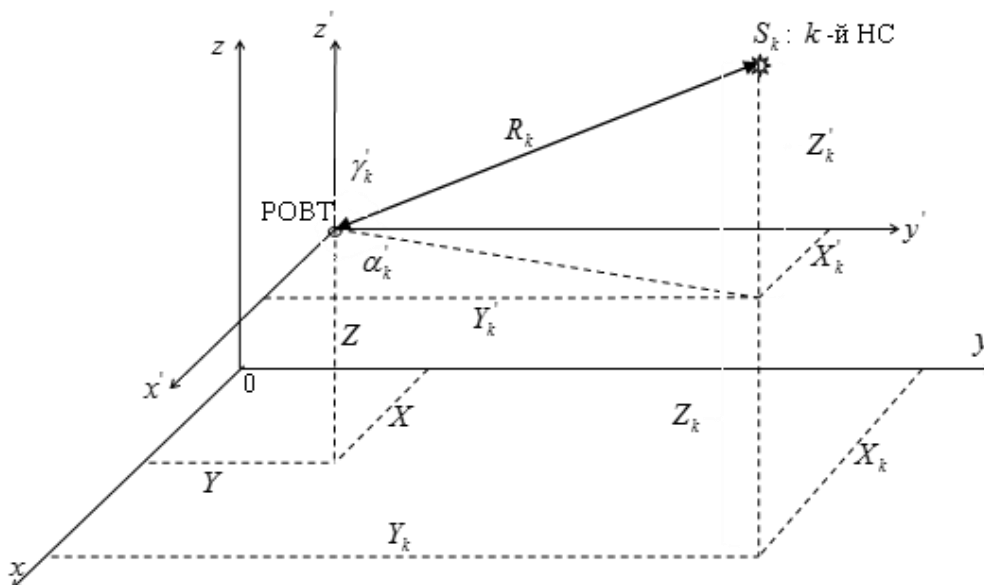


Рисунок 1 – Просторові координатні системи

Система (3) може бути вирішена в разі, коли $1 < M < 4$, якщо додатково ввести три рівняння, які виражають залежності між прямокутними та сферичними координатами НС відносно РОВТ, тобто:

$$\begin{cases} X = X_k - R_k \sin \gamma'_k \cos \alpha'_k; \\ Y = Y_k - R_k \sin \gamma'_k \sin \alpha'_k; \\ Z = Z_k - R_k \cos \gamma'_k; \\ R_k = \sqrt{(X - X_k)^2 + (Y - Y_k)^2 + (Z - Z_k)^2}. \end{cases} \quad (4)$$

Для отримання оцінки сферичних координат НС, а саме: кута місця γ'_k та азимута α'_k (рис. 1) можна запропонувати створення алгоритму просторової обробки сигналів за хвильовим фронтом.

Підставивши значення в (4), завжди можна визначити шукані координати НО. На рис. 1 прийнято $M = 1$ і $k = 1$, що відповідає наявності єдиного НС у зоні видимості НО.

Процедура просторової обробки передбачає наявність низки антенних елементів (АЕ). Найбільш ефективним буде розташування АЕ на площині (рис. 2), що також має сенс з погляду спрощення проектування вимірювача.

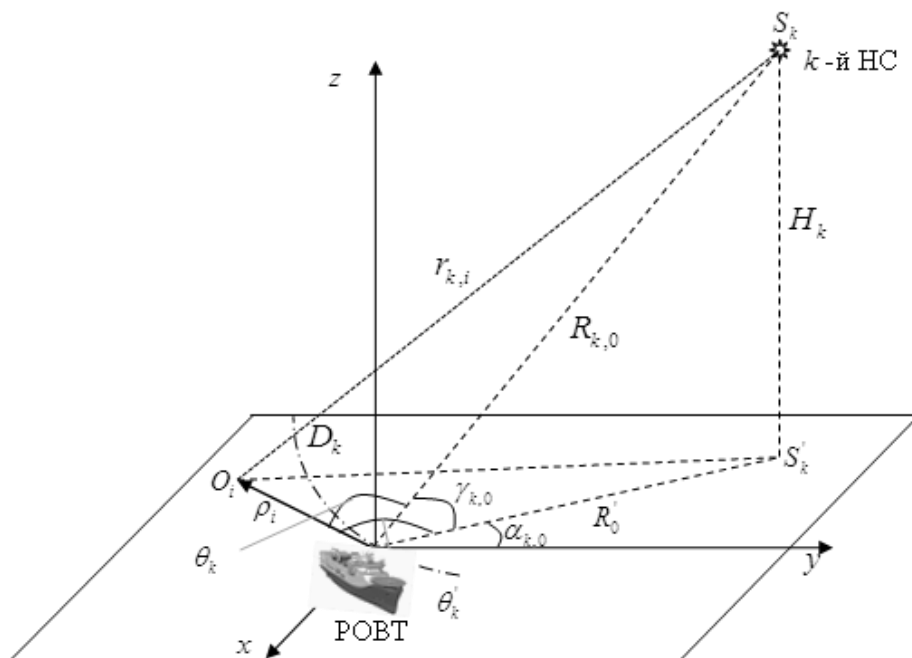


Рисунок 2 – Зв'язана система координат РОВТ

Як показано на рисунку, розташування АЕ в площині й наведені основні залежності надають можливість однозначно визначати кут місця та азимут.

Положення i -го АЕ характеризується вектором координат $\rho_i(\rho_i, \eta_i)$, де ρ_i – відстань від нульового до i -го АЕ, η_i – кут між нульовим спрямуванням і спрямуванням на i -й АЕ.

У зв'язаній з РОВТ системі координат, що зображено на рис. 2, НС має координати $\mathbf{R}_{k0}(R_{k0}, \gamma_{k0}, \alpha_{k0})$, а в системі координат рис. 1: $\mathbf{R}_k(R_k, \gamma'_k, \alpha'_k)$.

Висновки і перспектива подальших наукових досліджень. Ґрунтуючись на попередніх дослідженнях спостережуваності навігаційних параметрів для вирішення завдання гарантування безпеки ДП в умовах, коли на просторово-часовому проміжку здійснення високоточної навігації кількість видимих НС зменшується через специфіку

виконуваної технологічної роботи або від того, що потужність сигналу НС СРНС серйозно послаблюється перешкодами від різних джерел, запропоновано альтернативний підхід визначення місця РОВТ.

Розроблено систему рівнянь для визначення координат РОВТ в умовах недостатньої інформації.

Визначено умови та фактори, котрі можуть погіршити роботу СРНС в акваторії при здійсненні розробки ресурсів шельфу України.

Практична реалізація на борту РОВТ потребує впровадження додаткових технічних засобів вимірювання і обробки даних для знаходження : кута місця γ'_k та азимута α'_k , що є перспективним напрямом подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ІМО КБМ Циркуляр 645. Керівництво для суден з системами динамічного позиціонування. / ІМО, Лондон, 1994. 22 с.
2. Про затвердження Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті. *Наказ № 904 МТУ від 20.11.2003*. Київ : Офіційний вісник України, 2004. № 52 (09.01.2004) (частина 2). С. 2844.
3. Соловйов Ю. А. Системи супутникової навігації. Москва: Еко-Трендз, 2000. 267 с.
4. Габрук Р. А., Горішна І. Я. Убезпечення мореплавства шляхом контролю спостережуваності навігаційних параметрів. *Метрологія та прилади : науково-виробничий журнал*. Харків : ХНУРЕ, 2016. Випуск № 4 (60). С. 62–64.

REFERENCES

1. IMO MSC Circular 645. Guidelines for vessels with dynamic positioning systems. / IMO, London, 1994.- 22 p.
2. Order No. 904 of the MTU dated 20.11.2003. «On approval of the Regulations on the system of safety management of navigation on the sea and river transport». - Kyiv: Official Gazette of Ukraine, 2004. - No. 52 (January 9, 2004) (part 2). - P. 2844.
3. A. Soloviov - “Satelite Navigation Systems” / Yuri Alexandrovich Soloviov – Moscow: Eco-Trends, 2000. – 267 p.
4. R.A. Gabruk. Ensuring safety of navigation by monitoring the navigation parameters observability / R.A. Gabruk, I.Y. Goryshna / Metrology and appliances. Scientific production journal. – Kharkiv: KhNURE, 2016 – Issue №4 (60). - P. 62-64

Габрук Р.А. БЕЗОПАСНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УХУДШЕННОЙ РАБОТЫ СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В работе рассмотрены вопросы обеспечения безопасности динамического позиционирования подвижных объектов водного транспорта в условиях, когда на пространственно-временном промежутке осуществления высокоточной навигации количество видимых навигационных спутников уменьшается из-за специфики выполняемой технологической работы или от того, что мощность сигнала навигационных спутников спутниковых радионавигационных систем серьезно ослабляется помехами от различных источников. Предложен альтернативный подход определения места подвижного объекта водного транспорта. Определены перспективные направления дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: система динамического позиционирования, безопасность мореплавания, судовождение, подвижный объект водного транспорта, спутниковая радионавигационная система.

Gabruk R. A. SAFETY OF DYNAMIC POSITIONING DURING DEGRADED CONDITION OF SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEM

In the paper it was considered the issue of dynamic positioning safety of mobile water transport objects during time-space interval of high-precision navigation when the amount of visible navigational satellites is reduced by specific of performed technological work or by the fact that the signal strength of navigation satellites of satellite radio navigation system is seriously weakened by obstacles from different sources. The purpose of the study is to guarantee the safety of DP ROVT in conditions where the equipment of the consumer is not capable of receiving signals of a sufficient number of emergencies. An alternative approach to determining the location of a moving water transport object is proposed. The conditions and factors that may interfere with the work of the SNAs in the water area during the development of offshore resources of Ukraine are identified. Perspective directions of further scientific researches are defined. An alternative approach to determining the location of a mobile water transport object was proposed. The perspective directions of further scientific researches are determined. Based on previous studies of the observability of navigation parameters to solve the problem of guaranteeing the safety of the DP in conditions where the space-time interval of high-precision navigation, the number of visible NS decreases due to the specifics of the technological work being performed or from the fact that the signal strength of the NRC NS is seriously impaired by obstacles, an alternative approach for determining the location of the PWT is proposed.

A system of equations is developed to determine the coordinates of the ROVT under conditions of insufficient information. The conditions and factors that may interfere with the work of the SNAs in the water area during the development of offshore resources of Ukraine are identified.

The practical implementation on board the ROVT requires the introduction of additional technical means of measurement and data processing for finding: angle of location and azimuth, which is a promising direction for further research.

Keywords: *dynamic positioning, safety of navigation, navigation, mobile water transport object, satellite radio navigation system.*

© Габрук Р. А.

Статтю прийнято
до редакції 10.07.2019