

THE DEPENDENCE OF THE ACCURACY OF OBSERVATION ON ESSENTIAL FACTORS AND THE WAY OF ITS IMPROVEMENT

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТОЧНОСТІ ОБСЕРВАЦІЇ ВІД СУТТЄВИХ ЧИННИКІВ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ

В.М. Alieksieichuk, *senior lecturer*

Б.М. Алексєйчук, *ст. викладач*

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

Національний університет "Одеська Морська Академія", Україна

ABSTRACT

The paper examines the influence of the main factors on the accuracy of determining the ship's position and shows ways to improve it. An analytical expression of the minimum observation variance is given if the coordinates are calculated using the maximum likelihood method in the presence of excessive position lines.

The concept of a geometric factor is introduced, which is determined by the relative location of the LPs and their number. It is shown that the errors of the position lines can have a distribution according to the normal law, as well as according to the mixed laws of the first and second type. For each of the error distribution laws of the position lines, an analytical expression of the minimum observation variance was obtained and the efficiency of the observed coordinates of the ship was determined under the condition of calculating the coordinates by the method of least squares in the case of excessive position lines.

It is shown that in the case of the distribution of errors of the position lines according to the normal law, the efficiency of the observed coordinates is equal to one, and if according to the mixed distribution laws of the first and second type, then the efficiency is less than one and increases with the increase of the essential parameter.

It is emphasized that improving the accuracy of observation is possible by choosing the correct parameters of the dispersion of position lines, geometric factor and efficiency. A constant angle between the adjacent directions of the position lines is determined, at which the geometric factor becomes minimal and depends only on the number of LPs.

It is shown that if the errors of the position lines have a distribution according to the mixed laws of the first and second type, and the coordinates are calculated by the method of least squares, then there is a loss of observation accuracy. Therefore, a way of compensating the loss of observation accuracy by increasing the number of LPs taking into account the efficiency value is proposed.

Keywords: navigational safety, coordinate accuracy, geometric factor, position lines (PLs), mixed error distributions, least squares method, observation variance, efficiency optimization..

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

В судноводінні передбачено безперервний контроль місця судна із завданою точністю обсервації для забезпечення навігаційної безаварійності, що потребує використання надлишкових ліній положення (ЛП).

В останні десятиріччя було встановлено, що випадкові похибки навігаційних вимірів розподілені не лише по нормальному закону, а і по змішаним законам двох типів. Тому при розрахунку обсервованих координат проводиться методом найменших квадратів може відбутися втрата їх точності. В зв'язку з цим виникає потреба в розробці способів

компенсації втрат точності для забезпечення завданої точності визначення місця судна, що являється актуальним при плаванні в районах поганого проходження сигналу супутникових систем, де використовуються альтернативні системи контролю місця судна, а також при застосуванні систем кореляційної навігації в прибережних і внутрішніх водах.

Також це актуально при використанні ЕКНІС для визначення місця судна по дистанціям і пеленгам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частини загальної проблеми

Питанням підвищення точності судноводіння присвячено багато робіт з тематики безпеки мореплавання. В роботах [1-5] розглядаються питання, пов'язані з підвищенням точності судноводіння апаратними засобами.

Аналіз сигналу Galileo E1 та його чутливості до різних типів збурень приведений у статті [1], в якій показано, що в дослідженні проводилося моделювання білого шуму, хаотичних імпульсних збурень і вузькосмугових збурень, а також вплив цих сигналів на сигнал E1. Для зазначених типів збурень були створені спектральні структури, які надалі були інтегровані в сигнал E1 за допомогою програмного середовища Matlab.

Для фільтрації білого шуму з адитивної суміші сигналу E1 використовувався фільтр Калмана. Результатами цієї роботи можуть скористатись в разі розробки приймачів та сигнальних структур підвищеної надійності, які здатні протистояти цим типам збурень.

Краудсорсингову батиметрію (CSB) щодо нової концепції збору батиметричних даних розглянуто у роботі [2]. CSB визначається, як збирання та використання інформації про метеоданих, одержаних дослідницькими суднами, які оснащені відповідними приладами і виконують звичайні операції у морі. Дані, які були зібрані за допомогою CSB являються цінним доповненням до наявних даних, що зібрані гідрографічними роботами.

Підкреслюються відмінності між гідрографічною зйомкою та CSB та аналізуються чинники з погляду їхнього впливу на безпеку судноплавства.

Створення моделі руху літального об'єкта в геоцентричній системі координат (ECEF – Earth-Centered, Earth-Fixed) приведено у роботі [3], яка може бути використана для дослідження точності радіонавігаційних систем. Для побудови моделі використовується математичний опис руху літального об'єкта у геоцентричній системі координат.

В якості траєкторії польоту літаючого об'єкта використовується одна прямолінійна ділянки та два повороти на постійній висоті. В статті представлено розроблену процедуру моделювання руху літального об'єкта з використанням геоцентричної системи координат. Початкові координати літаючого об'єкта вибиралися за інформацією Flightradar 24. Комп'ютерне моделювання проводилося з використанням програми Matlab.

Робота [4] містить модель оцінки ймовірності, того що точність позиціонування глобальної супутникової навігаційної системи (GNSS) не відповідає існуючим вимогам. В роботі також запропонована розробка моделі, яка потребує значного набору спостережень похибок розташування, що охоплюють різні типи збурень середовища, впливаючих на точність позиціонування. Завдяки цьому модель повертає ймовірність відмови в разі дотриманні вимог до точності позиціонування даних додатків GNSS.

Запропонована модель демонструється для полярного регіону, при цьому використовуються спостереження псевдодальності GNSS, отримані на опорній станції мережі Міжнародної служби GNSS Iqualuit в Канаді.

Опис випадкової фази сигналу E6 супутникової навігаційної системи Galileo розглянуто в статті [5]. Математичні моделі вимірювальних сигналів системи Галілео було створено на основі наявної інформації. Для окремих сигналів візуалізовано їх структуру та визначено частоти. Приведено блок-схему генерації окремих сигналів та створено випадкову фазову модель E6 сигналу від системи Galileo.

Результати проведеного моделювання показали, що нестабільність частоти сигналу E6, який приймається з супутника, являється стаціонарним процесом. Результати моделювання

показали, що ефект Доплера має значний вплив на випадкову фазу сигналу Еб і це може вплинути на точність навігаційних вимірювань за сигналом Еб. Представлені результати моделювання випадкової фази сигналу Еб можуть бути використані для оцінки стійкості системи Galileo до збурень.

У приведених роботах розглянуто основні чинники, від яких залежить точність радіонавігаційних систем, приведено математичні моделі впливу основних чинників на параметри розглянутої систем, що підвищує якість радіонавігаційних систем і впливає на точність визначення координат об'єктів-споживачів.

У роботі [6] показано, що випадкові спостереження зазвичай супроводжуються виправленими знаннями щодо їхньої поведінки. У сучасних комп'ютерних програмах необроблені набори даних зазвичай використовуються на етапі навчання. На цьому етапі досліджуються доступні дані, щоб отримати необхідні параметри, необхідні для обчислень схеми логічного висновку. Груба обробка даних дозволяє витягувати умовні залежності. Починається з оновлення гістограм і оцінки їх невизначеності. Використовуючи принципи нечітких систем, можна отримати модифіковану ступінчасту структуру у вигляді локально ін'єктивних функцій густини. Їх можна сприймати як діаграми умовних залежностей з ідентифікованою невизначеністю, що дозволяє побудувати базові ймовірнісні призначення. Показники вірогідності, невизначеності та правдоподібності витягуються з початкових наборів необроблених даних. У статті розглядається проблема структур переконань, модернізованих із моделі невизначеності, щоб вирішити проблему фіксації позиції. Задумом автора є подання фіксації позиції як схеми висновку. Схема використовує докази, гіпотези та скасовує концепцію умовних зв'язків.

Змішані закони двох типів запропоновано для опису випадкових похибок навігаційних вимірювань у роботі [7], а в роботі [8] показано, що похибки вимірювань радіолокаційних відстаней та пеленгів в основному підпорядковуються змішаним законам першого та другого типу, причому не досліджено, як ця обставина впливає на точність визначення місця судна.

В роботі [9] проведено аналіз даних точності визначення місця судна супутниковою радіонавігаційною системою, який показує неспроможність, що припущення про розподіл випадкових похибок вимірювання широти та довготи за нормальним законом і потребує використання інших законів розподілу.

В роботі [10] розглянуто застосування ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірів для визначення місця судна при наявності надмірних ліній положення.

Аналіз статистичних даних похибок навігаційних вимірювань, отриманих у натурних спостереженнях представлено у роботах [11,12], який показав, що розподіл похибок не являється нормальним законом. У роботах показано, у чому відмінність розподілу похибок від нормального закону. У роботах [13,14] розглянуто можливості формалізації систем залежних випадкових величин за допомогою узагальненого розподілу Пуассона з базовим нормальним розподілом.

Аналіз ефективності обсервованих координат судна за наявності надлишкових ліній положення проведений у роботі [15] та показано, що при змішаних законах розподілах ефективність менша за одиницю. Однак в цих роботах не показано методів підвищення ефективності координат судна.

Як показано у роботі [16], якщо закон розподілу похибок відрізняється від закону Гауса, то застосування методу найменших квадратів для розрахунку значень обсервованих координат судна не дозволяє отримати їх ефективні оцінки.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ціль роботи полягає в дослідженні залежності точності обсервації від основних чинників і аналізу можливостей її підвищення.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Мінімальна дисперсія обсервації D_n^{mn} , яка визначається коваріаційною матрицею з мінімальною нормою має вигляд [17]:

$$D_n^{mn} = \frac{\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i}{s \left[\left(\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right)^2 \right]},$$

де α_i – кут напрямку градієнту i -го навігаційного параметру;

$$s - \text{невласний інтеграл, причому } s = \int_{R1} \frac{\left[\frac{\partial}{\partial \xi} f(\xi) \right]^2}{f(\xi)} d\xi,$$

$f(\xi)$ - щільність розподілу похибки ліній положення.

Якщо позначити

$$k(n, \alpha_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i}{\left[\left(\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right)^2 \right]},$$

то одержимо залежність $D_n^{mn} = k(n, \alpha_i) \frac{1}{s}$.

Коефіцієнт $k(n, \alpha_i)$ називається геометричним фактором, так як він залежить лише від взаємного розташування ЛП. Звертаємо увагу, що дисперсія обсервації D_n^{mn} також залежить від закону розподілу похибки ліній положення, тобто невластного інтегралу s . В роботі [13] показано, що похибки ліній положення можуть мати розподіл по нормальному закону, а також по змішаним законам першого і другого типу.

Наведемо аналітичні вирази невластного інтегралу s для вказаних законів розподілу.

Щільність нормального розподілу $f(\xi)$ аналітично виражається таким чином:

$$f(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{2\sigma^2}\right\}.$$

В цьому разі $s = \frac{1}{\sigma^2} = \frac{1}{D_m}$, де D_m - дисперсія похибки ліній положення. Таким чином,

$$D_n^{mn} = k(n, \alpha_i) D_m.$$

Якщо похибки ліній положення мають розподіл по змішаному закону першого типу, то щільність їх розподілу $f(\xi)$ виражається наступним чином:

$$f(\xi) = \frac{A_m}{(\xi^2/2 + \lambda)^{m+1}},$$

де A_m - нормуючий множник, причому $A_m = \frac{2^{2m} (m!)^2}{\sqrt{2\pi} (2m)!} \lambda^{m+1/2}$;

m - істотний параметр, що приймає цілочисельні значення;

λ - масштабний параметр.

Невласний інтеграл s у цьому випадку має наступний вигляд:

$$s = \frac{(m+1)(2m+1)}{2\lambda(m+2)}. \quad (1)$$

Дисперсія цього розподілу виражається наступним чином:

$$D_m = \frac{2\lambda}{2m-1}, \text{ звідки:}$$

$$\lambda = \frac{D_m(2m-1)}{2}.$$

Після підстановки в (1): $s = \frac{(m+1)(2m+1)}{D_m(2m-1)(m+2)},$

$$\begin{aligned} \text{тому } D_n^{mn} &= k(n, \alpha_i) D_m \frac{(2m-1)(m+2)}{(m+1)(2m+1)} = k(n, \alpha_i) D_m \frac{2m^2 + 3m - 2}{2m^2 + 3m + 1} = \\ &= k(n, \alpha_i) D_m \left(1 - \frac{3}{2m^2 + 3m + 1}\right). \end{aligned}$$

Позначимо $e_1 = 1 - \frac{3}{2m^2 + 3m + 1}.$

Таким чином, одержимо:

$$D_n^{mn} = k(n, \alpha_i) D_m e_1.$$

В разі, коли похибки ліній положення підкоряються змішаному закону розподілу другого типу, то щільність їх розподілу $f(\xi)$ має наступний вираз:

$$f(\xi) = \frac{A_m^*}{(\xi^2/2 + \lambda)^{m+3/2}},$$

де $A_m^* = \frac{(2m+1)! \lambda^{m+1}}{\sqrt{2} 2^{2m+1} (m!)^2}.$

Невласний інтеграл s виражається наступним чином:

$$s = \frac{(2m+3)(m+1)}{\lambda(2m+5)}. \quad (2)$$

Дисперсія цього розподілу має вигляд:

$$D_m = \frac{\lambda}{m}, \text{ звідки:}$$

$$\lambda = D_m m.$$

Після підстановки в (2): $s = \frac{(m+1)(2m+3)}{D_m m(2m+5)}.$

Очевидно, що $D_n^{mn} = k(n, \alpha_i) \frac{1}{s} = k(n, \alpha_i) D_m \frac{m(2m+5)}{(m+1)(2m+3)} =$

$$k(n, \alpha_i) D_m \frac{2m^2 + 5m}{2m^2 + 5m + 3} = k(n, \alpha_i) D_m \frac{2m^2 + 5m + 3 - 3}{2m^2 + 5m + 3} = k(n, \alpha_i) D_m \left(1 - \frac{3}{2m^2 + 5m + 3}\right).$$

Введемо позначення $e_2 = 1 - \frac{3}{2m^2 + 5m + 3}$ і отримаємо остаточно:

$$D_n^{mn} = k(n, \alpha_i) D_m e_2.$$

Таким чином, одержали вирази мінімальної дисперсії обсервації для нормального закону D_{nN}^{mn} та змішаних законів першого D_{nS1}^{mn} і другого D_{nS2}^{mn} типів, при умові, що розрахунок координат проводився методом максимальної правдоподібності, а кількість ліній положення була більше двох. Причому:

$$D_{nN}^{mn} = k(n, \alpha_i) D_m, D_{nS1}^{mn} = k(n, \alpha_i) D_m e_1, D_{nS2}^{mn} = k(n, \alpha_i) D_m e_2.$$

Якщо розрахунок обсервованих координат проводиться методом найменших квадратів, то незалежно від закону розподілу їх дисперсія D_n дорівнює D_{nN}^{mn} , тобто $D_n = k(n, \alpha_i) D_m$. В роботі [18] зазначається, що ефективність обсервованих координат судна e в контексті проблеми, що розглядається, має статистичну інтерпретацію, тобто дорівнює відношенню мінімально можливої дисперсії обсервованих координат D_n^{mn} до дисперсії D_n , яка забезпечується застосуванням методом розрахунку координат, у нашому випадку методом найменших квадратів. Очевидно, $e = \frac{D_n^{mn}}{D_n}$, і в разі розподілу похибок ліній положення по нормальному закону $e = 1$, а якщо по змішаному закону розподілу першого типу $e = e_1$ і змішаному закону розподілу другого типу $e = e_2$.

Аналіз вище викладеного показує, що дисперсія модуля векторіальної похибки D_n залежить від дисперсії похибки лінії положення D_m , орієнтації ліній положення α_i , їх числа n , тобто від і метода розрахунку координат, який визначає величину e .

Очевидно, що покращення точності обсервації, тобто зменшення дисперсія модуля векторіальної похибки D_n , можливо вибором коректних параметрів D_m , $k(n, \alpha_i)$ і e .

Розглянемо геометричний фактор $k(n, \alpha_i)$. Проведеними дослідженнями було встановлено, що при постійному куті $\Delta\alpha_i$ між сусідніми напрямками α_i і α_{i+1} , значення якого є $\Delta\alpha_i = \frac{360}{n}$, або $\Delta\alpha_i = \frac{180}{n}$, то фактор $k(n, \alpha_i)$ набуває мінімального значення, що залежить лише від числа n ЛП, як показано в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність геометричного коефіцієнту від числа n ЛП

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k(n, \alpha_i)$	2	1,333	1	0,8	0,666	0,5714	0,5	0,444	0,4

Для перевірки мінімальності геометричного фактору $k(n, \alpha_i)$ розраховано його значення для $\Delta\alpha_i = \frac{180}{n}(1 + 0,1j)$, причому результати розрахунку приведено в табл. 2.

В залежності від завданого числа n лінії положення слід вибрати якомога ближче до значення $\Delta\alpha_i = \frac{180}{n}$, чим буде мінімізовано геометричний фактор $k(n, \alpha_i)$.

Похибка навігаційних вимірювань у вибірці має змішаний тип розподілу, як сукупність нормально розподілених похибок з різними дисперсіями, що залежать від умов вимірювання. При визначені місця судна умови вимірювання незмінні, тому похибка навігаційних вимірювань має нормальний розподіл з постійною дисперсією, значення якої невідомо. Із вибірки відомо лише її середньо змішане значення, яке позначимо через D_m . Якщо завдано дисперсію обсервованого місця судна D_z , то, знаючи залежність D_z від числа ЛП i

Таблиця 2. Геометричний фактор $k(n, \alpha_i)$ для $\Delta\alpha_i$

j/n	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1,333	1,000	0,800	0,666	0,571	0,500	0,444	0,400
1	1,349	1,009	0,807	0,672	0,576	0,503	0,447	0,403
2	1,390	1,032	0,823	0,685	0,586	0,513	0,455	0,410
3	1,440	1,058	0,840	0,698	0,597	0,522	0,463	0,417
4	1,482	1,076	0,851	0,706	0,603	0,527	0,468	0,420
5	1,499	1,079	0,852	0,706	0,603	0,526	0,467	0,420
6	1,485	1,067	0,843	0,699	0,597	0,521	0,463	0,416
7	1,445	1,046	0,829	0,688	0,588	0,514	0,456	0,410
8	1,395	1,023	0,814	0,677	0,579	0,506	0,450	0,405
9	1,352	1,006	0,804	0,669	0,573	0,501	0,446	0,401
10	1,333	1,000	0,800	0,666	0,571	0,500	0,444	0,400

дисперсію D_m , можливо визначити необхідну кількість ЛП, яка забезпечує дисперсію обсервованого місця судна D_z ($D_z = F(n, D_m)$).

Але дійсна дисперсія похибки ЛП не співпадає з дисперсією D_m , тому має місце втрата точності обсервації. Таким чином, дійсна дисперсія обсервації буде більша, чим D_z .

Для того, щоб компенсувати цю втрату точності обсервації необхідно збільшити число ЛП з метою забезпечення необхідного значення дисперсії D_z . Якщо використовувати для розрахунку обсервованих координат при наявності надлишкових ЛП метод найменших квадратів, то ефективність координат e менша одиниці. Тому реальна дисперсія $D_n = F(n, D_m)$ з урахуванням ефективності координат e забезпечує D_z згідно з рівнянням $D_n = F(n, D_m) = D_z \cdot e$. З даного рівняння визначається необхідна кількість n ЛП для обсервації міста судна.

Допустимо, що похибка ЛП має розподіл по змішаному закону першого типу, В роботі [13] показано, що ефективність оцінки обсервованих координат e , розрахованих методом

найменших квадратів у разі, коли випадкові похибки навігаційних вимірювань розподілені по змішаному закону першого типу менше одиниці, а її значення залежно від істотного параметру m приведені в табл. 3.

Таблиця 3. Ефективність змішаного розподілу першого типу

m	1	2	3	4	5	6
e	0,5	0,8	0,893	0,934	0,955	0,968

Із зростанням m змішаний розподіл прагне до нормального а ефективність e – до одиниці.

Розглянемо приклад, що демонструє запропонований спосіб компенсації втрати точності визначення місця судна. Припустимо, що завдана дисперсія обсервованого місця судна має дорівнювати дисперсії ЛП. Для цього, як впливає з табл. 1, без втрат точності необхідно використання чотирьох ЛП. Також припустимо, що похибки вибірки ЛП розподілені по першому змішаному законі з істотним параметром $m=1$. Як витікає з табл. 3, в цьому разі ефективність $e=0,5$, тобто точність втрачається наполовину. Для компенсації втрати точності дисперсію визначення місця необхідно зменшити вдвічі, чому в табл. 1 відповідає коефіцієнт $k \approx 0,5$, причому він досягається при восьми ЛП, як слідує із тієї ж таблиці.

Таким чином, для компенсації втрати точності обсервації необхідно використовувати додаткові ЛП. Так при $m=1$ потрібно замість 4 ЛП використати 8 ЛП, по яких розрахувати координати методом найменших квадратів, при цьому $D_n = D_m$. Якщо $m=3$, то $e=0,893$ (згідно з табл.3). Аналіз табл. 1 показує, що у цьому випадку замість 4 ЛП достатньо використати лише 5 ЛП.

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

1. Розглянуто геометричний фактор, який впливає на величину дисперсії обсервації і залежить від числа ЛП та їх взаємного розташування.

2. Отримані аналітичні вирази для дисперсії обсервації в разі розподілу похибок вимірювання навігаційних параметрів по нормальному закону та по змішаним законам першого і другого типу.

3. Проаналізовано можливість покращання точності визначення місця судна шляхом використання додаткових ліній положення та мінімізації геометричного фактору.

Надалі доцільна розробка способу оптимізації величини геометричного фактору обсервації.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Džunda M. Model of the Signal of the Galileo Satellite Navigation System/ Džunda M., Čikovský S., Melniková L.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 51-59, 2023.
- [2] Pavić I. Analysis of Crowdsourced Bathymetry Concept and It's Potential Implications on Safety of Navigation/ Pavić I., Mišković J., Kasum J., Alujević D.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 14, No. 3, pp. 681-686, 2020.
- [3] Džunda M. Model of the Motion of a Navigation Object in a Geocentric Coordinate System / Džunda M.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 15, No. 4, pp. 791-794, 2021.
- [4] Malić E. A Method and a Model for Risk Assessment of GNSS Utilisation with a Proof-of-Principle Demonstration for Polar GNSS Maritime Applications/ Malić E., Sikirica N., Špoljar D., Filjar R.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 43-50, 2023.

- [5] Džunda M., Čikovský S., Melniková L.: Model of the Random Phase of Signal E6 of the Galileo Satellite Navigation System/ Džunda M., Čikovský S., Melniková L. // TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 61-68, 2023.
- [6] Filipowicz W. Position Fixing and Uncertainty/ Filipowicz W.//TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 4, pp. 887-893, 2023.
- [7] Астайкин Д.В. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов / Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 3–9.
- [8] Алексейчук Б.М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений / Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 10-15.
- [9] Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207–225.
- [10] Ворохобин И.И. Определение места судна при избыточных измерениях применением ортогонального разложения плотности распределения погрешностей навигационных измерений / Ворохобин И.И., Астайкин Д. В. // Austria - science, Issue: 11, 2018. - С. 39–44.
- [11] Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - Транспорт, 1989. - 230с.
- [12] Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426 - 429.
- [13] Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrucken, Deutschland/Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.
- [14] Сикирин В.Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона/ Сикирин В.Е.// Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 152 – 156.
- [15] Бурмака И.А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / Бурмака И.А., Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. – 2016. – выпуск 1 (35). – С. 24 - 29.
- [16] Мудров В.М. Методы обработки измерений/ Мудров В.М., Кушко В.Л. - Советское радио, 1976. - 192 с.
- [17] Степаненко В.В. Эффективность оценки параметров ситуации опасного сближения судов/ В.В. Степаненко. // Судовождение: Сб. науч. трудов / ОГМА. – Вып. 2 – Одесса: Латстар, 2000. – С. 201 – 209.
- [18] Бурмка І.О. Точність координат визначення місця судна, розрахованих методом найменших квадратів, у разі надмірних вимірів / Бурмка І.О., Алексейчук Б.М. // Судноводіння: Зб. наук. праць. / НУ "ОМА", Вип. 35. – Одеса: «ВидавИнформ», 2023 - С. 10-21.

REFERENCES

- [1] Džunda M. Model of the Signal of the Galileo Satellite Navigation System/ Džunda M., Čikovský S., Melniková L.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 51-59, 2023.
- [2] Pavić I. Analysis of Crowdsourced Bathymetry Concept and It's Potential Implications on Safety of Navigation/ Pavić I., Mišković J., Kasum J., Alujević D.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 14, No. 3, pp. 681-686, 2020.

- [3] Džunda M. Model of the Motion of a Navigation Object in a Geocentric Coordinate System / Džunda M.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 15, No. 4, pp. 791-794, 2021.
- [4] Malić E. A Method and a Model for Risk Assessment of GNSS Utilisation with a Proof-of-Principle Demonstration for Polar GNSS Maritime Applications/ Malić E., Sikirica N., Špoljar D., Filjar R.// TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 43-50, 2023.
- [5] Džunda M., Čikovský S., Melniková L.: Model of the Random Phase of Signal E6 of the Galileo Satellite Navigation System/ Džunda M., Čikovský S., Melniková L. // TransNav, International journal on marine navigation and safety of sea transportation, Vol. 17, No. 1, pp. 61-68, 2023.
- [6] Filipowicz W. Position Fixing and Uncertainty/ Filipowicz W.//TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 4, pp. 887-893, 2023.
- [7] Astaykin D.V. Authentication of laws of distributing of navigation errors by the mixed laws of two types /Astaykin D.V., Alekseychuk B.M.// Avtomatizatsiya sudovyh tehnicytskih sredstv: nauch.-tehn. sb. – 2014. – Vyp. 20. Odessa: ONMA. – P. 3 – 9. [in Russian].
- [8] Alekseychuk B.M. Authentication of law of distributing of errors of measuring / Alekseychuk B.M., Pasechnyuk S.S. // Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov./ONMA, Vyp. 27. – Odessa: «IzdatInform», 2017 - P. 10 – 14. [in Russian].
- [9] Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.
- [10] Vorokhobin I.I. Location ship at surplus measuring by application of orthogonal decomposition of closeness of distributing of errors of navigation measuring / Vorokhobin I.I., Astaykin D.V. // Austria - science, Issue: 11, 2018. - P. 39 - 44. [in Russian].
- [11] Kondrashikhin V.T. Location of ship / Kondrashikhin V.T. - Transport, 1989. – 230s. [in Russian].
- [12] Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426 - 429.
- [13] Astayrin D.V. Estimation of exactness of coordinates of ship at the surplus measuring / Astayrin D.V., Sikirin V.E., Vorokhobin I.I., Alekseychuk B.M. – Saarbrücken, Deutschland/ Germaniya: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 p. [in Russian].
- [14] Sikirin V.E. Description of navigation errors by the generalized distributing of Puasson / Sikirin V.E.// Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov./ONMA, Vyp. 26. – Odessa: «IzdatInform», 2016 - P. 152 – 156. [in Russian].
- [15] Burmaka I.A. Estimation of efficiency of coordinates of ship at the surplus measuring / Burmaka I.A., Astaykin D.V., Alekseychuk B.M. – 2016. – vypusk 1 (35). – P. 24 - 29. [in Russian].
- [16] Mudrov V.M. Methods of treatment of measurings / Mudrov V.M., Kushko V.L. - Sovetskoe radio, 1976. -192 p. [in Russian].
- [17] V.V. Stepanenko. Efficiency of assessing the parameters of the situation of dangerous approach of ships / V.V. Stepanenko. // Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov / ONMA, Vyp. 2. – Odessa: Latstar, 2000 - P. 201 – 209. [in Russian].
- [18] Burmaka I.O. Accuracy of the coordinates of the ship's designated place, calculated by the least squares method, in the times of overworldly worlds / Burmka I.O., Alekseychuk B.M. // Sudnovodinya: Zb. nauk. prats. / NU "OMA", Vyp . 35. – Odesa: “VidavInform”, 2023 - pp. 10-21.