

О. А. Дакі, Н. С. Урум, В. М. Федунов, О. В. Бажак

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

МЕТОДИ МОРЕХІДНОЇ АСТРОНОМІЇ В СУЧАСНОСТІ

Анотація. На теперішній час методи і засоби морехідної астрономії є єдиними дублюючими стосовно глобальних навігаційних супутникових систем. Морехідна астрономія оперує методами та засобами для визначення місця судна у відкритому морі. З розвитку сучасних інформаційних технологій почалася інтенсивна розробка комп'ютерних методів в астронавігації. Широке використання в сучасній навігаційній практиці новітніх супутникових систем обсервації ніяк не знімає актуальності методів астрономічних обчислень. Астрономічні способи визначення мають істотні переваги, а саме – небесні світила є природними "датчиками" навігаційної інформації, причому їх досить багато, що дозволяє одночасно вести вимір для розрахунку елементів декількох ізостадій. Триваюче швидке ускладнення умов судноводіння, особливо в районах інтенсивного судноплавства, стимулює розвиток автоматизованих навігаційних комплексів, які реалізують зазначені методи морехідної астрономії. Астрономічні методи можуть бути автоматизовані за допомогою астронавігаційних систем, що значно збільшить ймовірність застосування цих методів, скоротить час і підвищить точність рішення навігаційних завдань. В статті наведена структурно-функціональна схема автоматизованої астронавігаційної системи.

Ключові слова: астронавігаційна система, морехідна астрономія, навігація, судноводіння.

Вступ.

Морехідна астрономія має значний шлях розвитку. Ще до 70-х років ХХ століття її методи залишалися основними для океанських визначень місцеположення судна. Наукові дослідження цього періоду зосереджувалися в основному на розробці математичних моделей узагальненого способу отримання ліній положення, методів попередніх обчислень та астрономічних таблиць.

З розвитку сучасних інформаційних технологій почалася інтенсивна розробка комп'ютерних методів в астронавігації. Широке використання в сучасній навігаційній практиці новітніх супутникових систем обсервації ніяк не знімає актуальності методів астрономічних обчислень. Астрономічні способи визначення мають істотні переваги, а саме – небесні світила є природними "датчиками" навігаційної інформації, причому їх досить багато, що дозволяє одночасно вести вимір для розрахунку елементів декількох ізостадій. Небесні світила забезпечують можливість визначення координат судна в будь-якій частині Світового океану. Астрономічні способи визначення місця судна є автономними; практично немає засобів, які позбавлять судно можливості астрономічних обсервацій при виведенні з ладу електрообладнання.

У морському плаванні основним є штурманський метод судноводіння, який складається в регулярному визначенні місцеположення судна. Результати обчислень показують положення судна щодо небезпек, слугують для контролю та корекції визначення місцеположення. В усіх випадках навігаційна безпека плавання залежить, насамперед, від частоти та точності визначень місця, унаслідок чого визначення місця судна відносять до основних задач навігації. Серед багатьох та різноманітних заходів, спрямованих на підвищення безпеки мореплавання, помітна роль належить удосконаленню теорії й практики визначення місцеположення судна. Теорія визначення місцеположення судна за допомогою астрономічних обсервацій створювалася і розвива-

лася зусиллями багатьох поколінь моряків і вчених різних країн. На жаль, з розвитком системи супутникового позиціонування увага до методів морехідної астрономії почала різко знижуватися. Основна роль морехідної астрономії в сучасних реаліях – це залишатися автономною резервною системою визначення місця судна, що здатна забезпечити безпеку мореплавання в умовах відкритого моря.

Прогрес у морехідній астрономії в області підвищення точності обсервацій по зірках та інших світилах можливий шляхом розвитку методів морехідної астрономії.

Метод статті є аналіз методів морехідної астрономії та розробка структурно-функціональної схеми автоматизованої суднової структурно-функціональної схеми автоматизованої астронавігаційної системи.

Аналіз публікацій. Слід зауважити, що методи морської астрономії втратили свою популярність з розвитком систем супутникової навігації, а кількість публікацій щодо даної тематики невпинно падає.

Важливим є дослідження кінця ХХ – початку ХХІ століття Міщика М. О. [1], Малкова О. О. [2]. Сучасні дослідження процесів автоматизації рішення завдань морехідної астрономії представлені в роботах Свешнікова М. Л. [3], Лукашової М. В. [4]. Додатковими джерелами є монографії, підручники та посібники з морехідної астрономії вітчизняних та закордонних спеціалістів [5-8].

Основна частина

На теперішній час використання інформаційних технологій та елементів цифрової техніки має особливе значення в системах комплексної суднової автоматизації, у тому числі й у системі автоматизації процесів судноводіння.

Проблема автоматизації процесів судноводіння містить у собі три основних напрямки: отримання навігаційної інформації, обробку навігаційної інформації, управління судном як об'єктом автоматичного регулювання. Кожний з цих напрямків містить різні проблеми, деякі з яких вирішені, багато яких

вирішуються, інші чекають свого рішення. У питаннях обробки навігаційної інформації можна відзначити, що створення єдиної методології розрахунку ліній положення та розрахунку координат судна значно спростить обробку азимутальних, швидкісно-висотних та швидкісно-азимутальних способів визначення місцеположення судна. Незважаючи на розвиток супутникових систем навігації, астрономічні способи визначення місцеположення не втратили свого значення для забезпечення навігаційної безпеки плавання [8]. Навіть при подальшому розвитку глобальних навігаційних систем автономні астрономічні способи визначень місцеположення надовго залишаться як резервні через надійність секстанта й хронометра. А для визначення поправки компаса у відкритому морі поки не існує інших способів.

Диференціальні методи морехідної астрономії відкривають можливість визначення місцеположення за короткостроковими спостереженнями одного світила, що здійснюється на протязі 5-10 хвилин.

При достатній точності інструментально-вимірювальних засобів (порядку 3') вони здатні забезпечити середньоквадратичну помилку положення ± 500 м.

Подібна порівняно висока точність разом з відзначеною перевагою диференціальних методів вимагає уваги до різних аспектів питання, наприклад, загальної методології визначення місцеположення, принципів її інструментально-технічного здійснення, обґрунтування раціональних інженерно-конструкторських рішень. Протягом тривалого часу морехідна астрономія розвивалася без принципових змін, шляхом удосконалення інструментарію, створення радіосекстанів, що через їх складність й вартість поки широко не застосовуються на малих комерційних судах. Найбільш істотні зміни пов'язані з використанням обчислювальної техніки.

У розвитку морехідної астрономії виявляються такі тенденції: розробка алгоритмів для електронно-обчислювальних машин та способів прискореної обробки спостережень; дослідження та зменшення впливу систематичних і грубих похибок вимірів; відмова від неефективних часткових способів, наприклад, із наближеними меридіональними висотами. Швидкості суден, що збільшуються, і щільність судноплавних потоків загострюють дефіцит часу на капітанському містку. Цим обумовлений зростаючий інтерес не тільки до автоматизації, але й до методів прискореної обробки астрономічних спостережень.

Як показує практика [1, 7, 8], значна частина функціональної діяльності судноводія пов'язана з виконанням різних, у тому числі досить складних, обчислень. Унаслідок цього капітан та штурман у своїй практиці широко користуються спеціальними таблицями, номограмами, графіками та іншими посібниками, що трохи полегшують і спрощують їх працю. Далеко не завжди використання посібників дозволяє вирішувати задачі морської астрономії швидко й безпомилково. У відповідності з дослідженням [7], з 405 задач з астрономії, виконаних

судноводіями середньої кваліфікації, помилки були допущені в 184 випадках. Таким чином, імовірність помилки при рішенні досягає 0,45. Очевидно, що на допомогу судноводію повинні прийти прості та зручні у використанні інформаційно-обчислювальні системи, спеціально розроблені або пристосовані для рішення навігаційних задач. На ряді суден уже зараз впроваджені автоматизовані навігаційні комплекси, які звільняють судноводія від багатьох обчислювальних операцій [3, 4].

При виборі методу та розрахункових алгоритмів необхідно, по-перше, максимально спростити введення вхідних даних, підвищити наочність та інформативність отриманих результатів. По-друге, намагаються уникнути вставок у програмне забезпечення та її доповнення з покроковими розрахунками, а також необхідність запису проміжних результатів з подальшим їх введенням. Нарешті, по-третє, бажано уникнути необхідності аналізу знаків у процесі розрахунків, використання різних правил, таблиць та діаграм.

При цьому можлива відмова від загальноприйнятого методу формування ліній положення та пов'язаної з ним графічної прокладки цих ліній. Замість ліній положення (дотичних) безпосередньо розглядаються вихідні ізолінії-ізостадії – малі кола на небесній сфері з радіусами, які дорівнюють вимірним навігаційним параметрам – висотам світил h_{o1} та h_{o2} [9].

По-перше, відпадає необхідність у досить складному розрахунку зчислених значень висот h_{c1} та h_{c2} .

По-друге, усувається принципова похибка від заміни ізоліній (дуг кривих) їх лініями положення (дотичними до цих дуг). На цю принципову погіршеність накладається похибка самої графічної побудови.

У результаті обсервоване місце судна M_o , як точка перетину ізоліній, буде набагато ближче до істинного місця, ніж точка перетину дотичних до ізоліній (ліній положення).

Сумарна похибка при цьому може досягти декількох миль. При створенні програмного забезпечення метод ітерацій зручно використовувати при визначенні місця судна по висотах двох зірок (або зірки й планети).

Для цього в рівняння ізоліній-ізостадій (кола рівних висот)

$$z_1 = (90^\circ - h_1) = \text{const} \quad \text{та} \quad z_2 = (90^\circ - h_2) = \text{const}$$

підставляються координати $(\sigma_{1,2}; t_{1,2})$ та обсервовані висоти $h_{1,2}$ обох зірок.

Тоді має місце система двох рівнянь щодо шуканих обсервованих координат φ_0 та λ_0 :

$$\begin{cases} \sin h_{o1} = \sin \varphi_0 + \cos \varphi_0 \cdot \cos \delta_1 \times \\ \quad \times \cos \left(t_{rp1}^* \pm \lambda_{W0}^E \right); \\ \sin h_{o2} = \sin \varphi_0 + \cos \varphi_0 \cdot \cos \delta_2 \times \\ \quad \times \cos \left(t_{rp2}^* \pm \lambda_{W0}^E \right). \end{cases}$$

На перший погляд система не складна: два рівняння та дві невідомі. Однак вони є функціями різних тригонометричних функцій, отже необхідно використати метод ітерацій (послідовних наближень).

Геометрично ітераційний процес має такий вигляд: у кожній наступній точці уточнюється одна з координат, наприклад, спочатку широта φ , а потім довгота λ .

На основі вищевикладеного можна зробити такий висновок про існування двох основних шляхів підвищення ефективності використання методів морехідної астрономії:

- збільшення кількості вимірюваних астронавігаційних параметрів;
- використання спеціальних технічних засобів вимірів та їх обробки.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність розробки сучасних астронавігаційних систем (АНС) для морських суден, що дозволять автоматизувати процес вимірювання астронавігаційних параметрів.

Побудова суднової АНС повинна бути заснована на таких принципах:

- 1) універсальність, компактність, придатність установки на судні будь-якого призначення;
- 2) забезпечення максимуму ймовірності автоматизованого виміру одночасно декількох астронавігаційних параметрів;
- 3) використання при побудові комплектуючих, вже освоєних промисловістю;
- 4) застосування модульної конструкції, що дозволяє варіювати функціональними можливостями;

5) математичне забезпечення АНС повинне дозволити вирішувати завдання морехідної астрономії автоматично, без залучення додаткових таблиць, з можливістю автоматизованого періодичного відновлення астрономічних координат;

- 6) простота інтерфейсу;
- 7) можливість комплексування з іншими судовими навігаційними приладами та системами;
- 8) вартість серійної суднової АНС повинна бути прийнятною для судновласників й судноплавних компаній.

АНС повинна вирішувати такі завдання:

- 1) автоматичне формування площини штучного істинного горизонту;
- 2) розрахунок екваторіальних та горизонтних координат світил з метою наведення на світило вимірювального пристрою;
- 3) наведення на світило вимірювального пристрою та вимір астронавігаційних параметрів як в оптичному діапазоні, так і по радіовипромінюванню;
- 4) обробка всієї вимірюваної астронавігаційної інформації в реальному масштабі часу, відображення результатів цієї обробки та їх трансляція в системі автоматичного числення;
- 5) визначення місця судна, напрямку географічного меридіана, виправлень систем та приладів курсовказування;
- 6) визначення та збереження точного часу;
- 7) оцінка природного освітлення.

Структурно-функціональна схема автоматизованої суднової астронавігаційної системи наведена на рис. 1.

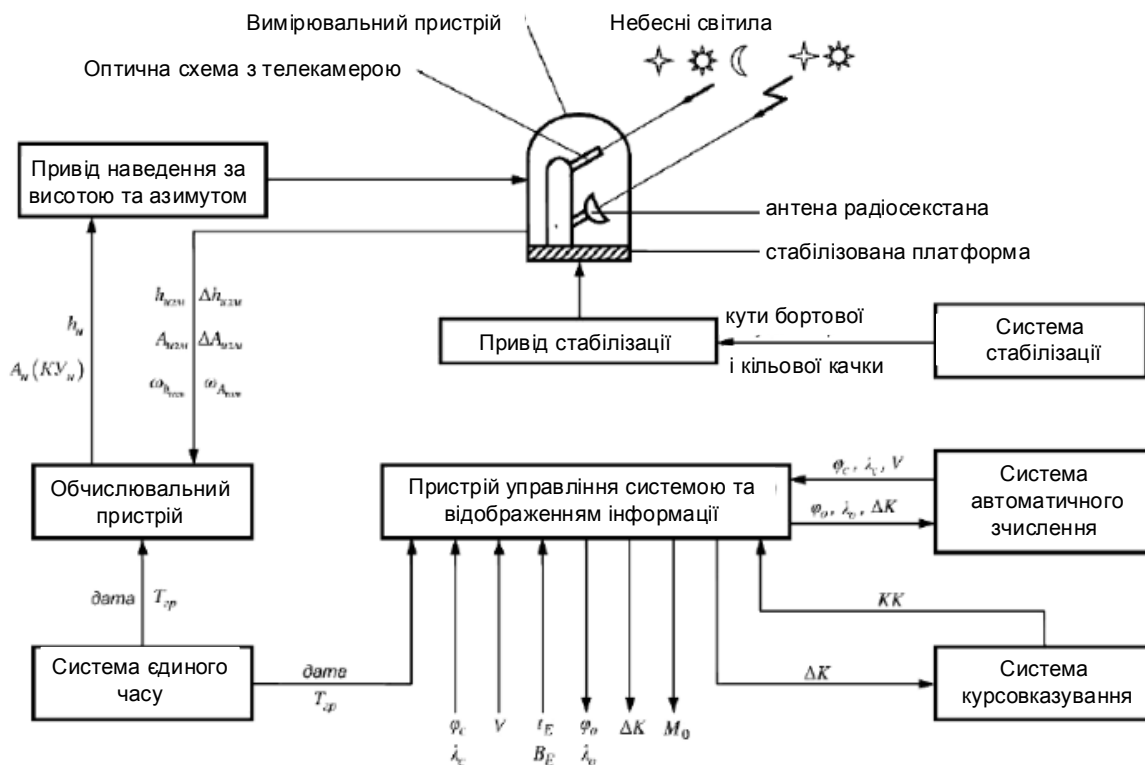


Рис. 1. Структурно-функціональна схема автоматизованої суднової астронавігаційної системи

Сформульовані принципи побудови та задачі суднової АНС, досвід розвитку таких систем дозволяють зробити висновок про такий перелік елементів, які повинні входити до складу автоматизованої суднової астронавігаційної системи (рис. 1):

1) система стабілізації в площині істинного горизонту;

2) вимірювальний пристрій на стабілізованій у площині істинного горизонту платформі;

3) обчислювальний пристрій для обробки астронавігаційної інформації.

Заявлений вище принцип модульності автоматизованої суднової астронавігаційної системи передбачає можливість створення цілого сімейства судових АНС для різних класів судів, що розрізняються за складом обладнання, технічними характеристиками та за вартістю.

Єдиними для таких систем повинні залишатися математичне забезпечення та організація інтерфейсу користувача системи.

Висновки

Теорія та практика визначень місцеположення судна розвиваються спільними зусиллями моряків та вчених, що необхідно для забезпечення безпеки мореплавання.

Статистичні дослідження навігаційної інформації будуть продовжуватися з метою уточнення оцінок похибок та кореляцій, прийнятих у якості апіорних, а також для виявлення залежності таких оцінок від умов вимірів.

Розробка міжнародних вимог до точності судноводіння та прийнята регламентація таких вимог породжують питання про те, які типи судів (їх навігаційне обладнання) і в яких умовах плавання задовольняють названим вимогам, або що треба зробити для їх задоволення.

У розширеній постановці це питання пов'язане з дослідженнями впливу людського фактора, динаміки та траєкторних характеристик суден, а також надійності функціонування полієргатичної системи судноводіння в цілому.

Триваюче швидке ускладнення умов судноводіння, особливо в районах інтенсивного судноплавства, стимулює розвиток автоматизованих навігаційних комплексів, які реалізують зазначені методи морехідної астрономії.

Астрономічні методи можуть бути автоматизовані за допомогою астронавігаційних систем, що значно збільшить ймовірність застосування цих методів, скоротить час і підвищить точність рішення навігаційних завдань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мищик Н.А. Сравнительный анализ различных аналитических методов астрономических наблюдений. Новороссийская государственная академия. Новороссийск, 1998. – 26 с.
2. Малков А.А. Развитие методов эфемеридного обеспечения мореходной астрономии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Институт прикладной астрономии. СПб., 2000 – 388 с.
3. Свешников М.Л., Свешников А.М., Павлов Д.А., Лукашова М.В. Система для решения основных задач мореходной астрономии // Труды ИПА РАН. – 2016. – Вып. 39. – С. 91–97.
4. Лукашова М.В., Свешников М.Л., Парийская Е.Ю., Павлов Д.А. Астронавигационная система «Навигатор» // Труды ИПА РАН. – 2018. – Вып. 46. – С. 87–93.
5. Мореходная астрономия. Основы сферической астрономии. Звездное небо и ориентирование по звездам. Координаты небесных светил. Видимое суточное движение светил : учебно-методическое пособие. – Москва : РКонсульт, 2006. – 164 с.
6. Брусенцов В. П. Лекции по мореходной астрономии. – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2010. – 120 с.
7. Верюжский Н. А. Мореходная астрономия. – М.: РКонсульт, 2006. – 164 с.
8. Гагарский Д. А. Мореходная астрономия: учебное пособие. – М.: ФГБУ Морречцентр, 2014. – 200 с.
9. Вульфвич Б.А. Основы судовождения. Мурманск, МГТУ, 2008. – 150 с.

Received (Надійшла) 23.04.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.07.2021

Modern marine astronomy methods

O. Daki, N. Urum, V. Fedunov, O. Bajak

Annotation. At present, the methods and means of nautical astronomy are the only redundant ones for global navigation satellite systems. Naval astronomy operates with methods and means for determining the position of a ship on the high seas. The intensive development of computer methods in astronavigation began with the development of modern information technologies. Modern navigation practice is based on the widespread use of the latest satellite observation systems. However, this in no way diminishes the relevance of astronomical computation methods. Astronomical methods of determining the location of objects have significant advantages. The main one is that it is the celestial bodies that are natural "sensors" of navigation information. The presence of a large number of celestial bodies allows simultaneous measurements to calculate the elements of several isostages. In the modern world, the rapid complication of navigation conditions continues, especially in areas of intensive shipping. This circumstance stimulates the development of automated navigation systems that implement the indicated methods of nautical astronomy. Astronomical methods can be automated using astronomical systems. As a result, the time is significantly reduced and the accuracy of solving navigation problems is increased. The article provides a structural and functional diagram of an automated astronavigation system.

Keywords: astronavigation system, nautical astronomy, navigation, navigation.