

-
3. Системы связи с кодовым разделением каналов / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, А.Н. Никитин, М.А. Сиверс // - СПб.: СПбГУТ, 1999. - 120с.
4. Системы зв'язку з рухомими об'єктами / С.О. Кравчук, О.Г. Голубничий, А.Г. Тараненко, В.Г. Потапов, О.П. Ткаліч // - К.: Спринт-Сервіс, 2012. - 452с.

Gabrusenko E.I., Taranenko A.G., Terentyeva I.E.

THE METHODS OF FORMING AND ESTIMATION OF CLUSTER PARAMETERS IN CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

The article deals with the cellular mobile communication system in which a limited channel resources are allocated between base stations. A decrease in co-channel interference is achieved by increasing the number of cells in a cluster, or by dividing the cell into sectors. Recommendations are provided to the cellular CDMA system for choosing multipath copies search interval. Their application increases the noise immunity of message processing.

Keywords: Mobile communication, cellular system, cluster, distribution of channels, co-channel interference, multipath reception correlation, autocorrelation function.

Габрусенко Є.І., Тараненко А.Г., Терентьєва І.Є.

МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ І ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ КЛАСТЕРА В СТІЛЬНИКОВИХ СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглядається стільникова система мобільного зв'язку, в якій обмежений каналний ресурс розподіляється між базовими станціями. Показано, що зменшення внутріканальних перешкод досягається збільшенням кількості сот в кластері або поділом сот на сектори. Для стільникової системи з кодовим розділенням каналів наведено рекомендації щодо вибору інтервалу пошуку багатопроменевих копій, що підвищує завадостійкість обробки повідомлень.

Ключові слова: Мобільний зв'язок, стільниковий система, кластер, розподіл каналів, внутрішньоканальні завади, багатопроменеве поширення, кореляційний прийом, автокореляційна функція.

УДК 656.61.052

Бобир В.О.

НАПРЯМКИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АСТРОНОМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ

Обґрунтовані та визначені напрямки фундаментальних досліджень астрономічного визначення місця. Встановлені об'єкт та предмет цих досліджень. Наведені приклади розширення можливостей, поліпшення та спрощення методів використання існуючого навігаційного секстану для визначення місця, включно і в нічних умовах.

Ключові слова: астрономічне визначення місця, навігаційні параметри, ізолінії.

Постановка проблеми. Сучасна морехідна астрономія, як з точки зору практики, так і науки переживає серйозну кризу. Це пояснюється тим, що для визначення місця судна в ній використовується метод висотних ліній положення, який ґрунтується на вимірах тільки одного навігаційного параметру світила – його висоти над видимим горизонтом. На практиці цей метод по суті не змінився, починаючи ще з 40-х років ХІХ століття. Цьому і його точність давно вже не відповідає сучасним вимогам як до точності отримання інформації, так і до її оперативності. Саме так і іде справа на морських судах, військових кораблях і підводних човнах, літаках і пілотованих космічних кораблях [1-3]. Окрім того, метод

висотних ліній положення вимагає від спостерігачів спеціальної і тривалої підготовки, а в подальшому - постійного підтримання навичок.

За два століття сучасна морехідна астрономія перетворилася в науку заради на-уки. У ній нашарувалася незлічена множина різноманітних досліджень та одержаних на їх основі рекомендацій. Це призвело до того, що метод висотних ліній положення став ще більш складним і трудомістким, а рекомендації по його удосконаленню - непотрібними через неможливість застосувати їх на практиці в сучасних складних та напружених умовах плавання, коли у судноводіїв бракує часу.

Аналіз досвіду роботи на морських судах показує, що судноводії у своїй переважній більшості не визначають місце судна астрономічним способом і цьому не користуються секстаном, навіть якщо він і зберігся на борту. Основним засобом визначення місця судна стала GPS-навігація, а астрономічне визначення місця стало резервним. З цих причин у 2001 р. Конвенцією СОЛАС-74 навігаційні секстани були вилучені з переліку обов'язкових навігаційних систем та обладнання для забезпечення безпеки морських суден [4]. Тим не менш, в Конвенції ПДНВ-95 встановлені вимоги до компетентності капітанів і старших помічників капітанів суден відносно астрономічного визначення місця [5]. Натомість, в той же час, в морських академіях на вивчення морехідної астрономії з причини складності її методів та отримання умінь і навичок витрачається цілий навчальний семестр.

З другого боку, на погляд, наприклад, вчених NASA постійні продовжні множинні спалахи на Сонці можуть стати причиною збоїв в GPS - навігації, мережах супутникового зв'язку, електромережах і т.д. Окрім того, магнітне поле Землі весь час зменшується. Це може призвести до значного зменшення його захисної функції від сонячного випромінювання для електронного обладнання. Якщо це трапиться, то астрономічне визначення місця неминуче раптово перейде в розряд основних і єдиних методів визначення місця в відкритому морі. Але до цього ніхто і ніщо не готове.

Постановка завдання. Цьому необхідно: 1) визначити напрямки фундаментальних теоретичних, конструкторських та експериментальних досліджень, які дозволять розробити оперативні та точні методи і засоби астрономічного визначення місця на морському флоті, в авіації і в космонавтиці; 2) навести приклади розширення можливостей, поліпшення та спрощення методів використання існуючого навігаційного секстану, включно і в нічних умовах.

Аналіз останніх досягнень і публікацій показує, що в літературі вже робилися пропозиції для удосконалення окремих способів астрономічного визначення місця судна [6], [7]. Але при цьому напрямки фундаментальних загальних змін астрономічного визначення місця не були визначені. Теоретичною базою для цього мають слугувати теоретичні розробки та практичні здобуття, що були зроблені в астронавігації та комп'ютеризації рішення практичних задач астрономічного визначення місця. Ці основні розробки та практичні здобуття можна визначити так:

1. Для цілей астрономічного визначення місця, перш за все, вночі окрім висоти світила можна використовувати такі навігаційні параметри світил, як: 1) різниця висот; 2) різниця азимутів; 3) швидкість зміни висоти; 4) швидкість зміни азимута; 5) азимуту; 6) сума висот; 7) паралактичний кут.

2. Рівняння ізоліній вказаних вище навігаційних параметрів достатньо добре освітлені в літературі [1].

3. Наявність на судах комп'ютерів. Це дозволяє з допомогою спеціальних комп'ютерних програм, які вирішують нелінійні трансцендентні рівняння, як функції від відомих величин небесних координат світил, розраховувати широту та довготу місця. До таких відомих програм відносяться, наприклад, Mathlab [8] чи Maple [6] і ін.

4. На судах у наявності є навігаційні секстани, і промисловість продовжує їх виробляти, точність виміру кутів з допомогою яких складає $0,1'$. Цього цілком достатньо для забезпечення точності визначення місця судна в відкритому морі при вимірах цим секстаном деяких з вказаних вище навігаційних параметрів.

5. Наявність гіровертикалей, наприклад, у авіації, які забезпечують точність утримання в вертикалі до $5'$, що дозволить визначати місце судна шляхом простого пеленгування світил і нанесення цих пеленгів на карту від полюсів освітлення світил.

6. Можливість використання штучного горизонту для астрономічного визначення місця вночі.

7. На практиці і в берегових умовах є приклади розробки приладів для інструментального астрономічного визначення місця. Це такі прилади, як вимірник підвищення полюсу світу над горизонтом (широти місця) і місцевого годинного кута світила (довготи місця), двохзірковий секстан Хогга, секстан Бертон для виміру різниці азимутів [9], зенітомір Михайлова, визначник місця Рандича, обчислювач Хегнера, гіроширот, сферант і ін. [1]. Однак усі ці прилади виявилися непридатними для практичної їх реалізації в умовах судна.

Виклад основного матеріалу дослідження. З урахуванням того, що до моменту втілення в практику нових методів астрономічного визначення місця потрібно буде користуватися існуючими секстанами, основні напрямки фундаментальних досліджень астрономічного визначення місця можна розділити на наступні етапи по розробці:

1) універсального секстану для безпосереднього одночасного виміру на небесній сфері широти місця, як підвищення полюсу світу над горизонтом, і місцевого годинникового кута світила (довготи місця), як екваторіального кута між вертикалом і меридіаном цього ж світила [10];

2) методів астрономічного визначення місця з використанням сучасних секстанів та пеленгаторів для виміру таких навігаційних параметрів світил, як різниця висот і швидкість зміни висоти та азимуту світил;

3) удосконалених методів астрономічного визначення місця за допомогою сучасних секстанів у способах: відповідних висот; над вогнями зустрічних суден вночі і при малій різниці азимутів світил;

4) методів астрономічного визначення місця по вимірним пеленгам світил;

5) приладів для виміру вказаних вище навігаційних параметрів, в першу чергу, вночі і методів астрономічного визначення місця на цій основі;

6) комп'ютерних програм, повністю відповідаючих вимогам до вирішування судових задач астрономічного визначення місця на основі виміру усіх навігаційних параметрів.

Що стосується розробки конструкції універсального секстану для безпосереднього одночасного виміру на небесній сфері координат місця, то головна технічна проблема при цьому – це вимірний пристрій секстану (тангенціальна нарізка). Як вже вказувалося, вимірний пристрій існуючого секстану має точність виміру кутів $0,1'$. Як показано в роботі [10], це цілком годиться для використання вимірного пристрою існуючого секстану в конструкції універсального секстану. В цьому випадку середньоквадратична похибка визначення місця з урахуванням похибок від рефракції і нахилення горизонту складе не більше $1,3'$ замість $3-4'$ методом висотних ліній положення. Таким чином, існуюче технологічне оснащення задовольнить потреби для виробництва універсального секстану.

Щоб використовувати універсальний секстан вночі, у ньому має бути встановлений пристрій зі штучним горизонтом (наприклад, бульбашковий рівень) таким чином, щоб систематичні похибки цього горизонту взаємно компенсувалися.

Для реалізації розробки та практичного використання універсального секстану необхідно вирішити цілу низку задач. Перша з них – це одержання підтримки держави в тому чи іншому вигляді. Далі треба оформити патент на «корисну модель» і провести теоретичні та експериментальні дослідження по визначенню: 1) інструментальних похибок універсального секстану; 2) особливостей спостережень секстаном; 3) умов, вигідних для визначення широти і довготи; 4) джерел похибок та помилок методу; 5) способів усунення або зменшення впливу похибок методу; 6) практичних прийомів вимірів.

Перевагою універсального секстану буде те, що, по-перше, він оснований на природному принципі, як, наприклад, магнітний компас, котрий на судні і досі називається «головним». По-друге, ним можна буде визначати місце по спостереженням одного світила. В-третє, на визначання місця треба буде декілька хвилин, а для спостерігача не треба довготривалої спеціальної підготовки.

З боку комерції та зиску універсальний секстан потрібен буде мільйонам користувачів на яхтах, рибальських та морських суднах, на надводних та підводних кораблях військово-морського флоту, на літаках та космічних пілотованих кораблях.

Розглянемо переваги використання сучасного секстану для виміру такого навігаційного параметру, як різниця висот світил. При цьому для астрономічного ви-значення місця необхідно виміряти секстантом щонайменше три висоти світил - h_1 , h_1 , h_2 . Вплив систематичних та випадкових похибок використання цього навігаційного параметру проявиться таким чином.

В загальному випадку для метода висотних ліній положення перехід від відліку секстану при вимірі висоти світила до його обсервованої висоти виконується шляхом введення поправок:

$$h_o = oc + i + s + d + \Delta h_p + \Delta h_p + R + \Delta h_t + \Delta h_B, \quad (1)$$

где h_o - обсервована висота світила; oc – відлік секстану при вимірі висоти світила; i – поправка індекса секстану; s – інструментальна поправка секстану; d – нахилення видимого горизонту; Δh_p – поправка за середню астрономічну рефракцію; Δh_p – поправка за паралакс світила; R – напівдіаметр світила; Δh_t – поправка за температуру повітря; Δh_B – поправка за тиск повітря.

Ці поправки служать джерелом систематичних похибок через розбіжність те-оретичних і паспортних поправок з дійсними, похибок при вимірах, відхиленні фактичних умов спостережень від табличних, особистих похибок спостерігача і таке інше.

Сумарна похибка виміру висоти дорівнює:

$$\sigma_\Sigma = m + t\sigma, \quad (2)$$

де m – сумарна систематична похибка виміру висоти, статистична оцінка якої в одній помірній висоті по даним роботи [1] не перевищує 1,2'; t – величина, яка залежить від прийнятої довірчої ймовірності, наприклад, для довірчої ймовірності 0,95 згідно до вимог Резолюції ІМО А.953(23) для визначення місця судна $t = 2$; σ – середньоквадратична похибка виміру висоти світила, величина якої прийнята рівною 0,7' [2].

Тоді з урахуванням цих даних по формулі (2) одержуємо, що сумарна похибка виміру однієї висоті світила дорівнює 2,6'. Вияв та виключення похибок вимагає значних витрат часу, надмірних спостережень та ускладнення їх обробки.

На основі формули (1) створимо два навігаційних параметри «різниця висот» - $\Delta h_1 = h_1 - h_2$ и $\Delta h_2 = h_2 - h_3$. Очевидно, що в цьому випадку усі поправки, окрім поправки за середню астрономічну рефракцію, будуть однаковими у усіх вимірних висот і будуть взаємно знищуватися. Тоді немає необхідності ні визначати поправку індексу, ні вимірювати нахилення видимого горизонту і т.п. При цьому висоти світил можна вимірювати навіть неповіреном секстаном. А щоб поправки за середню астрономічну рефракцію взаємно знищувалися, завжди є можливість підібрати пари зірок з такою різницею висот, в межах якої ці поправки однакові.

Це переконує, що використання навігаційного параметру «різниця висот» дозволяє звести величину сумарної систематичної похибки виміру до нехтовно малої.

Оскільки навігаційний параметр «різниця висот» одержується на основі виміру висот двох світил, то випадкова похибка його виміру дорівнює:

$$\sigma_{PB} = \sigma \sqrt{2}. \quad (3)$$

Розрахована по формулі (3) сумарна похибка виміру навігаційного параметру «різниця висот» не перевищує $1'$. Це щонайменше в два рази менше сумарної похибки виміру висоти світила.

Таким чином, при одночасному спостереженні трьох світил і використанні в якості ізоліній сферичної гіперболи координати місця будуть визначатися на основі рішення системи пар рівнянь, наприклад, першої (4) – (5), другої (5) – (6) чи третьої (4) – (6) після підстановки (7) – (9) в праву частину (4) – (6):

$$\left. \begin{aligned} h_2 - h_1 &= \arccos z_2 - \arccos z_1; & (4) \\ h_3 - h_1 &= \arccos z_3 - \arccos z_1; & (5) \\ h_3 - h_2 &= \arccos z_3 - \arccos z_2; & (6) \\ \cos z_1 &= \sin \varphi \cdot \sin \delta_1 + \cos \varphi \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos(S_1 + \lambda); & (7) \\ \cos z_2 &= \sin \varphi \cdot \sin \delta_2 + \cos \varphi \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos(S_2 + \lambda); & (8) \\ \cos z_3 &= \sin \varphi \cdot \sin \delta_3 + \cos \varphi \cdot \cos \delta_3 \cdot \cos(S_3 + \lambda); & (9) \end{aligned} \right\}$$

де z_1, z_2, z_3 - зенітні відстані світил, град. та S_i, S_2, S_3 – грінвічські зіркові часи світил під час виміру їх висот, град.; $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ - схилення світил, град.; $\varphi, \lambda, \varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2, \varphi_3, \lambda_3$ – географічні координати місця судна, град. в залежності від вибраних пар світил.

Якщо між координатами місця судна, розрахованими по парам світил, спостерігаються розбіжності, то це буде свідчити про те, що в спостереженнях присутні випадкові похибки. Їх вплив зменшується відомими прийомами після нанесення усіх трьох пар координат на карту і одержання трикутника похибок [11].

Відомо, що при спостереженні одного світила, як правило – це Сонця, для визначення місця судна методом висотних ліній положення потрібно чекати, доки різниця азимутів світила не досягне величини не менше ніж 30° , на що може знадобитися біля двох, або і більше годин. В цьому випадку до похибок виміру висот світила приєднається ще й похибка від зчислення місця судна за цей час. Щоб виключити похибки вимірів та зчислення, необхідно вимірювати висоти світила з інтервалом в 5-10 хвилин, а в якості першого навігаційного параметру використати різницю висот. Тоді ізолінею буде сферична гіпербола:

$$\Delta z = \arccos [\sin \varphi \cdot \sin \delta_2 - \cos \varphi \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos(S_2 + \lambda)] - \arccos [\sin \varphi \cdot \sin \delta_1 - \cos \varphi \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos(S_1 + \lambda)]. \quad (10)$$

Другим навігаційним параметром буде швидкість зміни висот за період спостереження двох висот світила з інтервалом в 5-10 хвилин, ізолінею якого є висотна ізоскора. Тоді координати місця визначаються з сумісного рішення системи рівнянь (10) – (15):

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \operatorname{ctg} q_1 \cdot \sin(S_1 + \lambda) \cdot \sec \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_1 \cdot \cos(S_1 + \lambda); & (11) \\ \operatorname{tg} \varphi &= \operatorname{ctg} q_2 \cdot \sin(S_2 + \lambda) \cdot \sec \delta_2 + \operatorname{tg} \delta_2 \cdot \cos(S_2 + \lambda); & (12) \\ \omega &= (\arccos z_2 - \arccos z_1) \cdot (T_2 - T_1)^{-1}; & (13) \\ \sin q_1 &= \omega \cdot \sec \delta_1; & (14) \\ \sin q_2 &= \omega \cdot \sec \delta_2, & (15) \end{aligned} \right\}$$

де q_1, q_2 – паралактичні кути світил, град.; ω – швидкість зміни висоти світила за час між спостереженнями, град/сек; T_1, T_2 – часи виміру висот світила, сек.

Якщо між двома значеннями координат місця судна будуть розбіжності, то за обсервовану координату слід приймати середнє значення між ними.

Ще одна можливість використати інші навігаційні параметри світил – це вимір їх азимутів.

Відомо, що при відстані до спостережуваного об'єкту в 60 миль похибка в визначенні пеленгу в 1° дає похибку в визначенні лінії положення в 1 милю. Цебто кожна $0,1^\circ$ ($6'$) похибки у пеленгу дає похибку в 0,1 милі в лінії положення. Технічно таке вимірювання

азимута світила можна виконати за допомогою пеленгатора в поєднанні з гіровертикаллю, наприклад, МГВ-1, яка забезпечує точність утримання в вертикалі до 5'. З цього слідує, що цим методом можна вимірювати азимути світил, схилення яких відрізняється від широти місця не більш, як на 12° на південь чи на північ. При вимірі азимуту ізолінією буде ізоазимута. Координати місця визначаються з сумісного рішення системи рівнянь (16) – (18):

$$\left. \begin{aligned} ctgA_1 &= \cos \varphi \cdot tg \delta_1 \cdot \cos ec(S_1 + \lambda) - \sin \varphi \cdot ctg(S_1 + \lambda); \\ ctgA_2 &= \cos \varphi \cdot tg \delta_2 \cdot \cos ec(S_2 + \lambda) - \sin \varphi \cdot ctg(S_2 + \lambda); \\ ctgA_3 &= \cos \varphi \cdot tg \delta_3 \cdot \cos ec(S_3 + \lambda) - \sin \varphi \cdot ctg(S_3 + \lambda), \end{aligned} \right\} \begin{aligned} (16) \\ (17) \\ (18) \end{aligned}$$

де A_1, A_2, A_3 – виміряні азимути світил, град.

Якщо між трьома координатами місця судна, розрахованими попарно між трьома азимутами світил, спостерігаються розбіжності, то це, знову таки, буде свідчити про те, що в спостереженнях присутні випадкові похибки. Після нанесення усіх трьох пар координат на карту і одержання трикутника похибок їх вплив зменшується відомими прийомами.

При пеленгуванні світила з висотою більше 88° місце судна можна одержати без розрахунків дуже просто – проведенням пеленгів на карті від полюсів освітлення цього світила. Впродовж ночі напевно знайдеться таке світило і не одне.

При використанні різності азимутів, як одержаної по виміряним азимутам, так і вимірної безпосередньо, координати місця визначаються з сумісного рішення системи рівнянь (19) – (24):

$$A_2 - A_1 = \text{arcctg}A_2 - \text{arcctg}A_1; \quad (19)$$

$$A_3 - A_1 = \text{arcctg}A_3 - \text{arcctg}A_1; \quad (20)$$

$$A_3 - A_2 = \text{arcctg}A_3 - \text{arcctg}A_2; \quad (21)$$

$$ctgA_1 = \cos \varphi \cdot tg \delta_1 \cdot \cos ec(S_1 + \lambda) - \sin \varphi \cdot ctg(S_1 + \lambda); \quad (22)$$

$$ctgA_2 = \cos \varphi \cdot tg \delta_2 \cdot \cos ec(S_2 + \lambda) - \sin \varphi \cdot ctg(S_2 + \lambda); \quad (23)$$

$$ctgA_3 = \cos \varphi \cdot tg \delta_3 \cdot \cos ec(S_3 + \lambda) - \sin \varphi \cdot ctg(S_3 + \lambda). \quad (24)$$

Розбіжність між визначеними парами координат і в цьому випадку усувається, як вже було вказано раніше.

Звісно, що рішення усіх систем рівнянь (4) – (9), (10) – (15), (16) – (18) та (19) – (24) може здійснюватися тільки за допомогою комп'ютерних програм.

Приділимо увагу також деяким простим та надійним методам астрономічного визначення місця, які по різним причинам використовуються необгрунтовано обмежено, але які можуть значно розширити можливості навіть сучасних методів морехідної астрономії. Перш за все, це стосується методу відповідних висот, за допомогою якого опівдні визначається довгота місця, та визначення місця по висотним лініям положення з використанням вогнів зустрічних суден вночі в якості штучного горизонту.

В сучасній морехідній астрономії рекомендується: 1) використовувати метод відповідних висот для визначення довготи місця тільки при висотах світил не менше 75°; 2) зміну полюсу освітлення світила через зміну його схилення та переміщення судна за проміжок між вимірами висот враховувати шляхом внесення поправки до місцевого годинникового кута світила [1].

Перша рекомендація ґрунтується на відомих обмеженнях методу висотних ліній положення для різночасних спостереженнях висот одного й того ж світила щодо різниці в азимутах - вона має бути більше 30°. Однак в методі відповідних висот вимірним параметром є час кульмінації світила, а шуканою лінією положення – меридіан спостерігача. Тому ця рекомендація тут недоречна.

Поправку до місцевого годинникового кута світила рекомендується розраховувати по формулі [1]:

$$\tau = 3,82 (tg \varphi - tg \delta) \cdot (\Delta - \psi), \quad (25)$$

де Δ - зміна схилення світила за годину, наприклад у Сонця ця зміна складає від $1'$ під час рівнодення до $0'$ під час сонцестояння; ψ - зміна широті місця судна за годину, хв. дуги.

Але оскільки в формулі (25) поправка до місцевого годинникового кута світила не залежить від проміжку часу між вимірами висот, то вона вносить в визначувану довготу дуже істотну похибку.

На жаль, ці обидві рекомендації й убезпечили методу відповідних висот недовіру до його точності, а на цій основі - забуття і непотрібність.

Особливістю методу відповідних висот є те, що на точність вимірів висот світил впливає тільки одна єдина похибка - випадкова похибка суміщення краю світила з горизонтом. Ця похибка при нормальних умовах, наприклад, для Сонця рівняється $0,2'$ [11]. Можна припустити, що це суміщення фіксується спостерігачем впротязь секунди. Будемо вважати, що середньоквадратична похибка визначення довготи методом відповідних висот не повинна перевищувати середньоквадратичну похибку визначення широти місця по меридіональній висоті світила, яка дорівнює $1,5'$ [11]. Позаяк вимірним параметром в методі відповідних висот є час, то припустима похибка в визначенні часу приходу світила на меридіан спостерігача через кутову похибку в $1,5'$ відповідає шести секундам часу. Таким чином, для убезпечення заданої точності визначення довготи теоретична чутливість виміру висоти світила у методі відповідних висот повинна становити $1,5': 6 \text{ сек.} = 0,25'$ в секунду. З урахуванням того, що довгота місця визначається на основі двох суміщень однакових висот, середньоквадратична похибка одного суміщення краю світила з горизонтом дорівнює $0,25' / \text{сек} : \sqrt{2} = 0,2' / \text{сек}$. Така точність виміру висоти повністю задовольняє вимогам до точності визначення довготи місця.

Щоб убезпечити таку точність визначення довготи місця, треба встановити азимут, на якому швидкість зміни висоти світила буде не менш ніж $0,1'$ в секунду і коли й треба робити перший вимір. Для цього скористаємося відомою формулою залежності швидкості зміни висоти світила ΔV_h ' / сек від широти місця φ , град. і азимуту A , град. [1]:

$$\Delta V_h = 0,25 \cos \varphi \cdot \sin A. \quad (26)$$

Прийнявши в (26), що $\Delta V_h = 0,1' / \text{сек}$, одержимо формулу для визначення азимуту для першого спостереження висоти світила:

$$\sin A = 0,4 \cos \varphi. \quad (27)$$

Наприклад, на широті 40°N перше спостереження висоти світила має бути, коли його азимут дорівнює 18° . Замість розрахунків по формулі (27) цей азимут легко знаходиться по Таблиці 3.34 МТ-2000 [12].

Для розробки порядку визначення довготи місця по методом відповідних висот скористаємося «способом гномона», при якому необхідно забезпечити симетричність відносного переміщення світила між двома вимірами його висот. Для цього достатньо на час спостережень змінити курс судна на O^{st} чи на W^{st} . В океанському плаванні це не завдає утруднень. Якщо це зробити неможливо, то треба з допомогою Таблиці 3.32 МТ-2000 другу - очікувану висоту привести до одного зеніту з першою висотою за час плавання судна між двома вимірами висот. Цей час розраховується, як подвійна різниця між часом першого виміру і часом кульмінації світила. Відзначимо, що за час між вимірами висот схилення світил, навіть Сонця, практично не впливають на точність визначення довготи місця.

На основі вищесказаного порядок визначення довготи місця методом відповідних висот має бути таким: 1) розраховується час кульмінації світила; 2) розраховується азимут світила, на якому треба вимірювати першу висоту; 3) по приходу світила на цей азимут вимірюється перша висота і засікається час; 4) якщо курс змінений на O^{st} чи на W^{st} , засікається час, коли світило прийде на встановлену на секстані першу висоту; 5) якщо курс не змінювався, то розраховується поправка на приведення до одного зеніту і змінюється на її значення величина першого виміру на секстані; 6) засікається

час, коли світило прийде на встановлену на секстані другу висоту; 7) час знаходження судна на меридіані спостерігача розраховується, як середньоарифметичне між різницею першого і другого спостережень; 8) по цьому часу з МАЩ знаходиться гринвіцький годинниковий кут світила; 9) довгота місця розраховується, як різниця між 180° чи 360° та гринвіцьким годинниковим кутом світила.

З допомогою запропонованого методу нами було виконано більше 500 визначень довготи місця в широтах від 0° до 45° по спостереженням, головним чином, Сонця, а також Місяця та Венери і під час навігаційних присмерків - зірок. Порівняння результатів цих визначень довготи з визначаннями місця судна по береговим орієнтирам, радіолокатору та радіонавігації показало, що середньоквадратична похибка визначення довготи не перевищила $1,0'$.

Отже визначення довготи місця методом відповідних висот в сполученні з визначенням широти місця по меридіональній висоті дозволяє скоротити витрати часу судноводіїв і визначати координати місця судна просто без зайвих розрахунків, наочно та з необхідною точністю.

Слід відзначити, що можна, аналогічно до методу відповідних висот, особливо вночі, для визначення довготи судна використовувати і метод відповідних азимутів.

В сучасній морехідній астрономії не передбачено визначення місця з допомогою навігаційного секстану вночі через відсутність видимого горизонту. Але і в цьому випадку визначити місце можна по вимірам висот світил над вогнями зустрічних суден. Така нагода трапляється в океанському плаванні постійно, оскільки в більшості випадків судна перетинають океані одними й тими самими рекомендованими шляхами. Наприклад, щорічно в бік Суецького каналу через Індійський океан проходить більше 20 тис. суден. А з Тихого океану в бік Малакської протоки – понад 50 тис. суден.

Порядок визначення місця по висотам, вимірним навігаційним секстаном над вогнями зустрічних суден, такий: 1) визначається судно, що знаходиться в межах видимого горизонту з висоти ока спостерігача і світила, вертикали яких буде це судно перетинати; 2) вогонь судна, над яким буде вимірюватися висота світила, має знаходитися якомога ближче до поверхні води; 3) з допомогою секстану світило суміщається з вогнем судна; 4) світило постійно утримується суміщенням з вогнем у полі зору труби секстану; 5) положення вертикалу світила контролюється за допомогою пеленгатора; 6) коли вогонь судна приходить на вертикал світила, засікається час, фіксується відлік висоти на секстані і вимірюється відстань до судна по радіолокатору; 8) так само вимірюються ще дві висоти; 9) місце судна визначається методом висотних ліній положення. При цьому систематична похибка виміру висот світил за невідому висоту вогню усується відомими методами [1].

Особливістю розрахунку обсервованої висоти світила в цьому випадку є те, що поправка за нахилення горизонту розраховується по формулі:

$$d = 0,04136D + 18,562 e \cdot D^{-1}, \quad (28)$$

де e – висота ока спостерігача, м; D – відстань до зустрічного судна, кбт.

Наявність на судні комп'ютерної програми, що вирішує нелінійні трансцендентні рівняння, дозволяє, як це показано раніше, використовувати різності висот, одержані по вимірним висотам, що значно поліпшить точність визначення місця.

З огляду на сказане, об'єктом фундаментальних досліджень астрономічного визначення місця будуть властивості ізоляцій навігаційних параметрів небесних світил, що проявляються при їх використанні для визначення місця судна. Предметом цих досліджень має бути розробка: 1) приладів для виміру широти і місцевого годинникового кута світила та навігаційних параметрів небесних світил таких, як різниця висот, різниця азимутів, азимут; 2) методів визначення місця судна на основі виміру навігаційних параметрів світил; 3) комп'ютерних програм для розрахунку координат місця.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Красавцев Б.И.* Мореходная астрономия. – М.: Транспорт, 1986. – 255 с.
2. Справочник летчика и штурмана. Под. ред. В.М. Лавского. – М.: Издательство Министерства обороны СССР, 1974. – 479 с.
3. *Романтеев Н.Ф.*, *Хрунов Е.В.* Астрономическая навигация пилотируемых космических кораблей– М.: Машиностроение, 1976. – 232 с.
4. СОЛАС 74-2002. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море.– Одесса: Студія Негоціант, 2002. – 236 с.
5. ПДНВ. Руководство для моряков / С учетом новых Манильских поправок 2010 года. – Лондон, ИТФ, 2012. - 88 с.
6. *Брюховец В.В.* Теоретическое обоснование нового численно-аналитического метода определения места корабля по эквизимутальным наблюдениям двух светил / Материалы научно-методической конференции «Современные проблемы по-вышения безопасности судоходства».– Одесса: «ВидавІнформ» ОНМА, 2009. -11-14 с.
7. *Бобыр В.А.* Совершенствование методов и способов астрономического определения места. Судоходство: сб. научн. трудов / ОНМА.– Вып. 20.–Одесса: ОНМА, ИздатІнформ, 2011.–С. 8–15.
8. *Сдвижков О.А.* Математика на компьютере: Maple 8 - серия «Библиотека студента». – М: СОЛОН-Пресс, 2003. – 176 с.
9. *Скородумов П.П.* Мореходная астрономия. Серия: Курс кораблеводства, т.2. – Л.: УГС ВМФ, 1963. – 528 с.
10. *Бобыр В.А.* Измеритель координат при астрономическом определении места судна. – Сб. матер. науч.- практ. конференции MINNT-2013 «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте», т. 1. – Херсон: ХГМА. -2013. – с.104-106.
11. *Кондрашихин В.Т.* Теория ошибок. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
12. Мореходные таблицы (МТ-2000). – М.: Главное управление навигации и океанографии МО СССР, 2002. – 322 с.

Бобыр В.А.

НАПРАВЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА

Обоснованы и определены направления фундаментальных исследований астрономического определения места. Установлены объект и предмет этих исследований. Приведены примеры расширения возможностей, улучшения точности и упрощения методов использования существующего навигационного секстана для определения места, включая в ночных условиях.

Ключевые слова: астрономическое определение места, навигационные параметры, изолинии.

Bobyр V.

DIRECTIONS OF FUNDAMENTAL INVESTIGATIONS OF ASTRONOMIC POSITION DETERMINATION

The directions of fundamental investigations of astronomic position determination have been grounded and defined. The investigation object and subject are established. Examples of the existing navigational sextant possibility enhancing, its accuracy improvement and simplification of methods of its use for position determination including night conditions are given.

Key words: astronomic position determination, navigational parameters, isolines.