

УДК 527

ББК 39.471-5

Б125

С. И. Бабич

Новосибирск, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННОГО СЕКСТАНА

Рассмотрено усовершенствование традиционного секстана для измерения разностей высот и азимутов двух светил. Выявлены преимущества модернизированного секстана для выполнения обсервации. Представлен алгоритм прямого вычисления обсервованных координат по измеренным разностям высот и азимутов.

Ключевые слова: модернизированный секстан, принцип работы, прямое вычисление координат обсервованного места.

S. I. Babich

Novosibirsk, Russia

MODERNIZATION OF THE NAVIGATIVE SEXTANT

The article deals with the improvement of the traditional sextant to measure differences between altitudes and azimuths of two stars. It gives the advantages of modernized sextant to carry out the observation. It shows the algorithm of the direct calculation of observed coordinates based on the measured differences between altitudes and azimuths.

Keywords: modernized sextant, principle of operation, direct calculation of coordinates of observed position.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ

Навигационные умения человека проделали огромный путь от компаса, лага, хронометра и секстана до современных спутниковых навигационных систем. Сегодня мы пользуемся достижениями многих поколений. Действительно, вместо выверки секстана, проведения серий измерений высот светил, весьма трудоёмкой обработки полученных результатов достаточно просто снять координаты судна с дисплея GPS-приёмника в любое время суток и при любых погодных условиях. К настоящему времени из мореходной астрономии в реальном судовождении осталась только задача определения поправки компаса, ранее считавшаяся достаточно лёгкой. Соответственно, изменившейся роли изменился и интерес к мореходной астрономии. А многие методы остались и вовсе не реализованными. Отчасти это объясняется и тем, что не были созданы простые, удобные, автономные технические средства наблюдений. В свою очередь, и разработка таких технических средств не вызывала интереса у исследователей в силу снижения роли мореходной астрономии в практическом судовождении. Но, тем не менее, только секстан, магнитный компас и простейший лаг могут обеспечить ориентировку судна при выходе из строя электрооборудования. Не зря курс мореходной астрономии обязателен для дипломирования штурманов во всём мире и включён в перечень компетенций, предусмотренных Международной конвенцией по подготовке и дипломированию моряков и несению вахт (МК ПДМНВ-78 с поправками).

2 СЕКСТАН ТРАДИЦИОННОГО ТИПА

Для решения большинства задач мореходной астрономии требуется измерять углы между различными предметами. Так как судно почти всегда испытывает качку, на нём нельзя использовать береговые угломерные приборы, которые устанавливаются на неподвижном горизонтальном основании. Поэтому в мореходной астрономии используют особый угломерный инструмент, позволяющий фиксировать измеряемый угол с руки, не требуя неподвижного основания. Этот инструмент получил название секстана (от латинского слова «sextans» —

«шестая часть»), так как имел угломерную дугу около $1/6$ окружности. Данный секстан представлен на *рис. 1*.



Рис. 1. Секстан традиционного типа СНО-Т:

- 1 – рама секстана; 2 – плоскость лимба с градусной шкалой;
- 3 – рукоять секстана; 4 – ограждение алидады; 5 – алидада;
- 6 – большое зеркало; 7 – отсчётно-стопорное устройство;
- 7.1 – барабан червячного винта;
- 7.2 – рычаги пружины отсчётно-стопорного устройства;
- 7.3 – лупа с осветителем; 8 – гнездо малого зеркала;
- 8.1 – регулировочный винт перпендикулярности малого зеркала;
- 8.2. – регулировочный винт установки нуля поправки индекса;
- 9 – ночная оптическая труба

Морской навигационный секстан – прототип усовершенствованного модернизированного секстана-М.

Среди основных недостатков методов определения места судна с использованием традиционного секстана можно указать на необходимость просматриваемого видимого горизонта, из-за чего весь ночной период с множеством види-

мых звёзд выпадал из работы. Дополнительно к этому из работы выпадали периоды с плохой видимостью горизонта по метеорологическим причинам.

3 УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СЕКСТАН-М

Устранение перечисленных выше недостатков может быть достигнуто применением усовершенствованного секстана-М с поворотным большим зеркалом, изображенного на *рис. 2*. Он сохраняет возможность измерения высот светил над видимым горизонтом, а также добавляет возможность измерения разности высот и азимутов двух светил. Такие измерения не нуждаются в видимости горизонта, поэтому могут выполняться ночью. В итоге предлагаемый секстан-М становится прибором, пригодным для круглосуточных наблюдений, а в режиме измерения разностей высот и азимутов может использоваться для автономного определения места наблюдателя в прибрежных, озёрных и даже в сухопутных условиях.

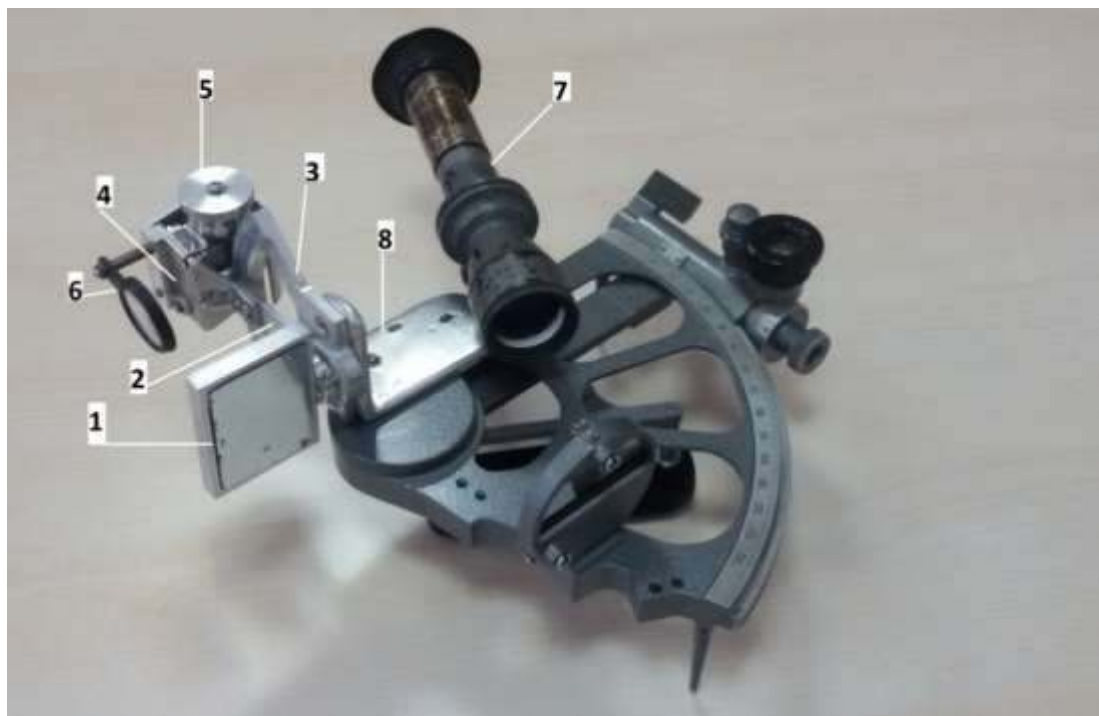


Рис. 2. Усовершенствованный секстан-М с поворотным большим зеркалом:

- 1 – поворотное большое зеркало (БЗ); 2 – алидада БЗ; 3 – лимб БЗ;
- 4 – отсчётно-стопорное устройство угла поворота БЗ;
- 5 – барабан отсчётно-стопорного устройства угла поворота БЗ;
- 6 – лупа; 7 – оптическая труба с гидроуровнем;
- 8 – соединяющий угольник (кронштейн)

Секстан-М с поворотным большим зеркалом содержит раму с лимбом высот, на которой закреплено малое зеркало, оптическая труба 7, алидада высот, на которой устанавливается большое зеркало 1. Алидада высот имеет ось вращения, перпендикулярную плоскости рамы. В модернизированном секстане-М большое зеркало установлено в закреплённой на алидаде поворотной рамке 1 с осью вращения, параллельной плоскости лимба. На оси закреплена алидада азимутов 2, скользящая вдоль закреплённого на алидаде высот лимба азимутов 3. Отсчётно-стопорное устройство высот установлено на алидаде высот, а отсчётно-стопорное устройство азимутов 4 закреплено на алидаде азимутов 2. Оптическая труба 7 содержит пузырьковый гидроуровень, с помощью которого устанавливается вертикальность расположения рамы секстана-М.

3.1 Метод вычисления координат наблюдателя

Появление нового, достаточно простого и полностью автономного технического средства в виде секстана-М с поворотным большим зеркалом приводит к необходимости более досконального исследования астронавигационных параметров разности высот и разности азимутов (в дополнение к ранее выполненным Гаврюком М. И. и его предшественниками), а также разработке новых методов определения места судна с использованием этих астронавигационных параметров [Сичкарёв, 2014, с. 2; Гаврюк, 1973, с. 26].

Метод прямого вычисления координат места судна по разностям высоты и азимута двух светил с использованием секстана-М разработан Сичкарёвым В. И. [Сичкарёв, 2016, с. 109–116].

При совмещении в процессе секстанных измерений вертикала светила A (более высокое из двух светил) с вертикалом светила B измеряется угол, который позволяет вычислить угол между вертикалами ΔA – разность азимутов двух светил. В результате совмещения вертикалов светило A окажется выше светила B на величину Δh – измеряемую разность высот светил. Таким образом, в процессе измерений будут получены разность высот Δh и разность азимутов ΔA .

Обсервация по разностно-высотным линиям положения (РВЛП) и разностно-азимутальным линиям положения (РАЛП) позволяет использовать их параметры для установления выгодных условий наблюдения светил. Условия наблюдения считаются выгодными, если угол пересечения линий положения близок к 90° , а градиенты навигационных параметров большие.

Выгодными условиями наблюдения светил для определения места судна по РВЛП и РАЛП двух светил будут:

- расположение светил примерно по одинаковой высоте;
- высота светил более 45° ;
- разность азимутов светил более 60° .

В настоящее время ведутся научные работы как по выявлению удобных методов работы с секстаном-М, так и по подбору светил для более быстрого, а главное, точного использования метода обсервации по разностям высот и азимутов светил, находясь в любой точки земного шара.

3.2 Принцип работы усовершенствованного секстана-М

Модернизированный секстан-М работает следующим образом. Отсчёты алидады высот и алидады азимутов устанавливаются на нулевые значения. Секстан направляется на верхнее из двух выбранных для наблюдения светил. Вращением барабана азимутов раздваивается изображение верхнего светила, и, не теряя его из вида, поворотом алидады азимутов, секстан ведётся в сторону нижнего светила. При совмещении вертикала верхнего светила с вертикалом нижнего светила поворотом алидады высот совместить лучи верхнего и нижнего светил, контролируя вертикальность секстана по пузырьковому гидроуровню. После окончательного совмещения лучей верхнего и нижнего светил отсчётно-стопорное устройство алидады высот покажет отсчёт разности высот Δh наблюдаемых светил, а отсчётно-стопорное устройство разности азимутов покажет отсчёт $\Delta \alpha$, функционально связанный с разностью азимутов ΔA . Отсчёт разности азимутов ΔA необходимо получить расчётом по формуле

$$\Delta A = 2 \arcsin \frac{\sin \frac{\Delta \alpha}{2}}{\cosh h}, \quad (1)$$

где h – высота нижнего светила, измеряемая секстаном, либо рассчитываемая по формуле

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos(t_{zp} \pm \lambda_W^E) \quad (2)$$

со счислимыми координатами судна φ , λ и эфемеридами светила на момент наблюдения. Полученные значения Δh и ΔA используются для расчёта обсервованных координат судна.

Алгоритм наблюдений светил и расчёта координат обсервованного места судна по наблюдениям разностей высот и разностей азимутов светил следующий:

1. Выбрать светила для наблюдений (светило А – более высокое из двух светил и светило В). Наилучшие условия – когда светила располагаются примерно на одной высоте вблизи меридиана наблюдателя. Выполнить глазомерное пеленгование светил, оценить зенитные расстояния светил и полюса, определить зону расположения полюса относительно зенита и светил.

2. На момент T секстанного наблюдения разностей высот Δh и разностей азимутов светил ΔA получить счислимые координаты, выбрать эфемериды светил и точки Овна $\delta_A, \delta_B, \tau_A, \tau_B, t_{zp}^y$.

3. Рассчитать видимое расстояние S между светилами и угол A_p по

$$\cos S = \sin \delta_A \cdot \sin \delta_B + \cos \delta_A \cdot \cos \delta_B \cdot \cos \Delta \tau, \quad (3)$$

$$\cos A_p = \frac{\sin \delta_B - \sin \delta_A \cdot \cos S}{\cos \delta_A \cdot \sin S}$$

(4)

4. Рассчитать высоту h_B светила B по

$$\cos^2 h_B = \frac{c \pm \sqrt{c^2 - 4 \cdot b^2}}{2},$$

(5)

где $c = \sin^2 \Delta h - 2 \cdot b \cdot \cos \Delta h$.

и высоту h_A светила A по

$$h_A = h_B + \Delta h.$$

(6)

5. Рассчитать угол A_Z по

$$\cos A_Z = \frac{\sin h_B - \sin h_A \cdot \cos S}{\cos h_A \cdot \sin S}. \quad (7)$$

6. Рассчитать по одной из формул, в соответствии с расположением полюса относительно светил и зенита, параллактический угол q .

$$q = A_Z - A_P.$$

(8)

$$q = A_Z + A_P.$$

(9)

$$q = -(A_Z - A_P) = A_P - A_Z.$$

(10)

$$q = 360^\circ - (A_Z + A_P).$$

(11)

7. Рассчитать широту зенита φ_Z по

$$\sin \varphi = \sin h_A \cdot \sin \delta_A + \cos h_A \cdot \cos \delta_A \cdot \cos q_A. \quad (12)$$

8. Рассчитать полярный угол $\Delta \tau_{ZA}$ по

$$\operatorname{ctg} \Delta \tau_{ZA} = \frac{\operatorname{tgh} h_A \cdot \cos \delta_A - \sin \delta_A \cdot \cos q_A}{\sin q_A}, \quad (13)$$

и звёздное дополнение зенита τ_Z по

$$\tau_Z = \tau_A + \Delta \tau_{ZA}.$$

(14)

9. Рассчитать востовую долготу зенита λ_W^Z по

$$t_{zp}^Z = t_{zp}^\gamma + \tau_Z \equiv \lambda_W^Z,$$

(15)

и при необходимости перевести её в остовую величину.

10. При необходимости рассчитать азимуты светил A_A и A_B по

$$ctg A_A = \frac{tg \delta_A \cdot \cos h_A - \sin h_A \cdot \cos q_A}{\sin q_A},$$

(16)

$$\cos A_B = \frac{\sin \delta_B - \sin h_B \cdot \sin \varphi_Z}{\cos h_B \cdot \cos \varphi_Z}.$$

(17)

Полученные широта и долгота зенита φ и λ – есть искомые координаты места наблюдателя.

Библиографический список

1. Гаврюк М. И. Астронавигационные определения места судна. М.: Транспорт, 1973. 176 с.
2. Сичкарёв В. И. Секстан: патент на изобретение РФ № 2523100 от 22.05.2014. МПК G01C 1/08 от 22.05.2014.
3. Сичкарёв В. И. Основные задачи мореходной астрономии. Новосибирск: Изд-во СГУВТ, 2016. 314 с.