

УДК 651.61.052.1 : 520

Экспериментальное определение точности астрономических обсерваций по двум звездам при обработке по методу линий положения

Б.А. Вульфович, В.А. Фогилев, Р.С. Сорокин

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. В статье проанализированы экспериментальные данные – результаты выполненных астрономических обсерваций по двум звездам – с целью выяснения реальной точности при девяносто пяти процентной надежности. Обработка производилась по методу линий положения. Рассматривается вопрос об актуальности мореходной астрономии. Авторами предлагаются перспективные направления исследований в астронавигационных способах определения местоположения судна.

Abstract. The experimental data – results of carried out astronomical fixes by two stars – have been analysed in this paper. The main aim is to obtain real error when 95 % accuracy estimation has being used. All observations have been cultivated by the method of Lines of Position (LOP). The actual aspects of Celestial Navigation have been considered. The authors have proposed perspective ways in the research of the Celestial Fixes.

1. Введение

Бурное развитие науки и техники в прошлом столетии коснулось всех областей человеческой деятельности. Не обошло оно стороной судовождение, в частности, навигацию. Рассмотрим один из её аспектов, связанный с определением места судна в открытом море методами мореходной астрономии.

Важность этих методов трудно переоценить. Конечно, говорить о том, что мореходная астрономия может стать одной из основных систем для постоянного получения информации о местоположении, как, например, спутниковые навигационные системы, глупо. Мореходная астрономия, после внедрения новаций, которые повысят точность и упростят получение обсервованных координат судна, должна стать резервной навигационной системой. Современное торговое мореплавание можно сравнить с хождением по лезвию бритвы. Сегодня нет никакой альтернативы GPS. Использование радиомаяков невозможно. Во-первых, они выведены из эксплуатации, во-вторых, на судах отсутствуют радиопеленгаторы, так как согласно требованиям РМРС их наличие необязательно. Подобная ситуация с РНС: цепочки не действуют, приемоиндикаторы сняты. Если говорить об альтернативных спутниковых навигационных системах, то спутниковый сегмент ГЛОНАСС не содержит необходимого количества спутников для бесперебойной работы, и до сих пор не налажено серийное производство приемоиндикаторов для гражданских пользователей. Для решения этих проблем требуются огромные финансовые вложения, а, учитывая текущее положение дел в нашей стране, это – весьма отдаленная перспектива. Новая европейская СНС Galileo пока находится на самом раннем этапе формирования.

Методы, которые целесообразно применять для определения местоположения судна в современных условиях навигации, – один из наиболее острых и актуальных вопросов в области судовождения на сегодняшний день. При этом особое внимание требуется уделить реальной точности астрономической обсервации.

2. Актуальность мореходной астрономии

Навигационные умения человечества проделали огромный нелегкий путь от хронометра и секстана до современных спутниковых навигационных систем. Сегодня мы пользуемся достижениями многих поколений. Труд современного судоводителя значительно облегчился. Действительно, вместо выверки секстана, проведения серий измерений высот светил, весьма трудоёмкой обработки полученных результатов, достаточно просто снять координаты судна с дисплея GPS приемника в любое время суток и при любых погодных условиях. Но это, как говорится, палка о двух концах.

Подойдем к этому вопросу с другой стороны. Внедрение в навигационную практику новейших спутниковых систем обсервации никак не снимает актуальности астрономических методов классической навигации. И дело тут не только в исторической памяти. Только мореходная астрономия совместно с магнитным компасом и простейшим лагом-вертушкой может обеспечить ориентировку судна при выходе из строя электрооборудования. А это весьма важно в наше время, когда высока вероятность чрезвычайных ситуаций и террористических актов на море. Недаром курс мореходной астрономии обязателен для дипломирования штурманов под эгидой ИМО во всём мире (*Международная...*, 1993).

Дешевизна и отмеченная выше автономность астрономических наблюдений от энергетических систем судна обеспечивается её простой инструментальной базой – секстаном, звёздным глобусом, хронометром, а также двумя-тремя пособиями и калькулятором. Исходная процедура астрономической наблюдения – измерение высот светил секстаном – остаётся неизменной в течение сотен лет. Она граничит с искусством и традиционно является предметом профессиональной гордости моряков.

К сожалению, в последнее время наблюдается понижение интереса к мореходной астрономии со стороны международной морской общественности. Подтверждением этого может служить проведенный нами анализ одного из самых авторитетных изданий в области навигации – знаменитого Journal of The Institute of Navigation. Последовательно были изучены номера этого журнала, начиная с самого первого, датированного мартом 1946 года и заканчивая пятьдесят первым номером, выпущенным в свет зимой 2004 года. Если не вдаваться в подробности, то статистика "астрономических" публикаций будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

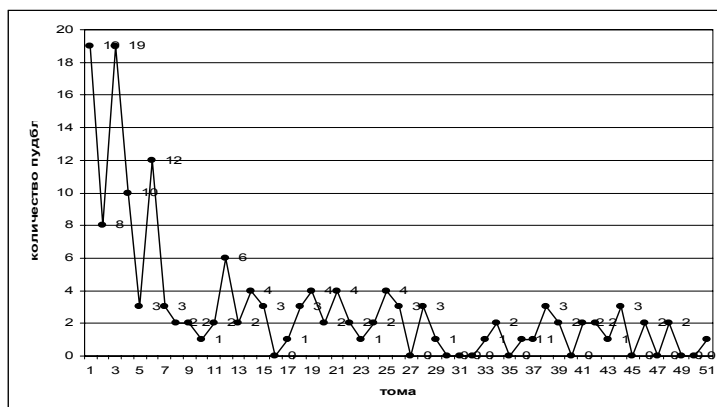


Рис. 1. Статистика публикаций, связанных с мореходной астрономией, в Journal of The Institute of Navigation

Материалы, опубликованные в Journal of The Institute of Navigation, обрабатывались нами как количественно, так и качественно. Иными словами, кроме простого подсчета количества статей, был проведен анализ проблематики каждой статьи. Ранние выпуски журнала отличались содержанием большого массива информации по мореходной астрономии, с одной стороны, и широким спектром затрагиваемых тем – с другой. Это свидетельствовало о большом интересе со стороны мировой морской общественности к астрономическим методам определения местоположения судна. Авторы предлагали новации в измерительных инструментах, пособиях, методах обработки информации, которые базировались на теоретических и практических изысканиях. Внедрение радионавигационных систем, а впоследствии и первых спутниковых навигационных систем постепенно оттеснило мореходную астрономию на второй план. При этом вопрос о реальной точности астрономических наблюдений и вовсе журналом не рассматривался.

Мы рассмотрели также работы в области мореходной астрономии, которые проводились в морских учебных заведениях нашей страны и ближнего зарубежья в последнее время. После изучения всей доступной и открытой информации по этому вопросу оказалось, что самое последнее – это разработка программ для решения задач определения места судна и поправки компаса по наблюдениям навигационных звезд, Солнца, Луны и планет. Эта компьютерная программа разработана в Одесском Высшем Инженерном Морском Училище в 1994 году.

Всеобщее снижение интереса к мореходной астрономии не уменьшает её актуальности. Согласно главе II разделов А-II/1, А-II/2 международной конвенции ПДМНВ-78, разработанной и утвержденной ИМО, в состав обязательных минимальных требований для дипломирования вахтенных помощников капитана судов валовой вместимостью 500 регистровых тонн и более, а также обязательных минимальных требований для дипломирования капитанов и старших помощников капитана судов валовой вместимостью 500 регистровых тонн и более, включено умение использовать небесные тела для определения местоположения судна. Критерием для оценки этого умения является местоположение, полученное с помощью астрономических методов, которое находится в пределах допустимых уровней точности.

3. Точность астрономических наблюдений

Целью данной работы является выяснение реальной точности астрономических наблюдений по измерениям высот двух звезд. Метод определения географических координат места судна по двум высотам небесных светил, измеренным в произвольных азимутах, обладает наибольшей универсальностью по сравнению с другими астрономическими способами. При наблюдении двух светил точность определения места судна (φ и λ) не зависит от величины самих азимутов, а лишь от их разности, которая по

возможности должна быть ближе к 90° . Определение места судна по астрономическим наблюдениям светил в ночное время суток осуществляется сравнительно легко, поскольку при отсутствии облачности всегда можно подобрать и почти одновременно отнаблюдать две и более яркие звезды. Из полученных наблюдений вычисляются широта и долгота места. Наличие серий наблюдений, состоящих из трех и более значений, позволяет исключить влияние на определяемое место общей для всех высот систематической погрешности. Точность ночных астрономических обсерваций не зависит от ошибок в пройденном расстоянии и истинном курсе судна, т.е. от ошибок навигационного счисления.

Вопрос об определении реальной точности астрономических обсерваций на основе практических экспериментов особенно актуален из-за того, что в разных учебных пособиях (Рыбалтовский, 1964; Дьяконов, 1958; Кондрашихин, 1989; Гаврюк, 1973) значения одних и тех же погрешностей сильно отличаются друг от друга, и в большинстве случаев точность астронавигационных способов определения местоположения судна чрезвычайно завышается. Однако по теории (Вульфович, 1989) априорная минимальная радиальная погрешность определения места судна по двум звездам при 95 % надежности не может быть меньше 6'. К примеру, радиальная погрешность астрономических обсерваций по двум звездам, полученная по теории Вульфовича Б.А., в 2.1 раза больше, чем у Рыбалтовского Н.Ю. Противоречивые данные о точности явились предпосылками для проведения практического эксперимента.

4. Описание эксперимента

Практические работы проводились в период с 22 июля по 16 августа 2006 года на борту НИС "Академик Лазарев". Все измерения были выполнены в Атлантическом океане в районе Шетландских островов (широта 60° N). Шестьдесят один раз местоположение судна определялось с помощью астрономических обсерваций по двум звездам. Во время одних сумерек делалось от одной до трех обсерваций. Принимая во внимание рекомендации (Красавцев, 1966), производились не единичные, а серии измерений, то есть высота каждого светила, момент времени, текущие координаты судна по GPS снимались три раза подряд, а потом находились среднеарифметические значения. Каждый раз до начала проведения обсервации производилась выверка секстана, согласно всем правилам, и находилась поправка индекса. Инструментальная поправка бралась из технического паспорта на секстан. Непосредственно перед началом снятия высот светил кратко записывалась информация о погоде – сила и направление ветра, состояние моря, зыбь, видимость, температура и атмосферное давление. Созвездия и звезды подбирались заранее с помощью звездного глобуса. Главным критерием при подборе являлась разность азимутов на светила ΔA – как можно ближе к 90° . В таком случае погрешности распределяются во взаимно перпендикулярных направлениях, и эллипс переходит в круг погрешностей. Еще одним достоинством глобуса является то, что он отображает фактическую картину звездного неба на необходимые даты и моменты времени. Значительно облегчалось опознание созвездий и звезд, так как были известны примерные значения высот и азимутов светил. Наиболее часто использовались звезды из созвездий Волопаса, Орла, Большой Медведицы, Малой Медведицы, Лиры, Возничего, Лебеда, Кассиопеи, Андромеды. Как показывает практика, они наиболее удобны для проведения астрономических обсерваций по звездам в районе 60° с. ш. – их легко идентифицировать на небе, особенно α -звезды, и светила обладают достаточно большой высотой. Благодаря этому уменьшалась поправка высоты за рефракцию и сводились к минимуму за температуру и атмосферное давление. Их значения брались из таблиц в МАЕ 2006, аргументом являлась алгебраическая сумма отсчета секстана и инструментально-индексной поправки. При исправлении обсервованной высоты за наклонение истинного горизонта входным аргументом в таблицу являлась высота глаза наблюдателя. Она рассчитывалась ежедневно, так как рост наблюдателя и высота палубы мостика от киля неизменны, а текущая осадка судна постоянно изменяется из-за расходования топлива, воды, судовых запасов, подъема и спуска забортного оборудования. К сожалению, наклономеры Каврайского и Н-5 сегодня отсутствуют на торговых и рыбопромысловых судах. Для нахождения обсервованного местоположения судна применялся достаточно трудоемкий метод линий положения. Отличительной особенностью проведенного эксперимента является то, что в качестве счислимого места использовались координаты, полученные с помощью спутниковой навигационной системы GPS. В настоящий момент времени на большинстве судов счисление не ведется, контроль места осуществляется с помощью регулярных обсерваций, в основном спутниковых. С другой стороны, место судна на основе GPS-координат можно считать абсолютным, следовательно, полученные $\Delta\varphi$ (разность широт) и $\Delta\omega$ (отстояние) также носят абсолютный характер.

Всего была проведена 61 обсервация по двум звездам. Радиальная погрешность при надежности 95 %, согласно требованиям ИМО, оказалась в разбросе от 4.2 до 11.6 и в среднем составила 6.9 морских миль. При этом СКП радиальной погрешности ± 1.7 морских миль. Таким образом, эксперимент показал реальную точность астрономических обсерваций по двум звездам от 5.2 до 8.6 морских миль, что полностью совпало с результатами работы (Вульфович, 1989), приведенными выше.

Некоторый интерес представляет установление связи между точностью астрономических наблюдений и такими факторами, как разность азимутов ΔA и особенно гидрометеорологические условия при проведении наблюдений. Было установлено, что основными параметрами гидрометеорологического фактора являются обобщенное состояние моря (суммарный учет зыби и волнения) и состояние видимости горизонта. Следующий шаг в исследовании – это составление корреляционных таблиц, а впоследствии нахождение коэффициента корреляции, по величине которого можно будет сделать вывод о реальной связи.

5. Перспективы развития мореходной астрономии

Учитывая современные реалии, прогресс в мореходной астрономии возможен, по нашему мнению, лишь в области обработки измеренных высот. Большой объем экспериментальных данных и современные вычислительные системы позволяют применить новые методы обработки результатов. Возможно на ранней стадии отойти от нахождения среднеарифметического значения в серии измерений, а определять веса измерений как обратно пропорциональные сумме квадратов отклонений наблюдений друг от друга, в случае, когда способ наименьших квадратов не обеспечивает необходимую точность при малом числе измерений. Такой подход изложен в работе (Вульфович, 1994). Для обработки обработанных высот можно применить три аналитических способа: метод итераций, метод алгебраических формул и модифицированный метод Гаусса.

Метод итераций удобен при определении места судна по высотам двух звёзд (или звезды и планеты). Система уравнений двух изолиний решается методом последовательных приближений к искомому обработанным координатам (φ_0 ; λ_0).

При формульном методе та же исходная система двух уравнений изолиний преобразуется в одно алгебраическое квадратное уравнение относительно $\sin\varphi_0$, где φ_0 – искомая обработанная широта судна. Коэффициенты этого уравнения определяются особыми алгоритмами, а уже решение самого уравнения элементарно. Отдельный алгоритм позволяет найти и вторую искомую координату – долготу судна λ_0 .

Модифицированный метод Гаусса состоит в том, что один из вспомогательных сферических треугольников разбивается на два прямоугольных. Благодаря этому искомые обработанные координаты судна рассчитываются по более простому алгоритму.

6. Заключение

В результате использования графоаналитического метода линий положения при проведении астрономических наблюдений по двум звездам и при постоянном контроле места судна с помощью спутниковой навигационной системы GPS, радиальная погрешность при надежности 95 %, согласно требованиям ИМО, оказалась в разбросе от 4.2 до 11.6 и в среднем составила 6.9 морских миль. При этом СКП радиальной погрешности ± 1.7 морских миль. Таким образом, эксперимент показал реальную точность астрономических наблюдений по двум звездам от 5.2 до 8.6 морских миль, что полностью совпало с результатами работы (Вульфович, 1989), приведенными выше.

Современные условия мореплавания толкают к форсированию работ по исследованию точности аналитических методов обработки измеренных высот и внедрению современных информационных систем в традиционные методы мореходной астрономии. Требуется привлечение внимания к этому вопросу на самом высоком уровне, так как речь идет, ни много, ни мало, о безопасности мореплавания.

Литература

- Вульфович Б.А. Оценка параметров малых рядов наблюдений. *Записки по гидрографии*, № 230, с.20-24, 1994.
- Вульфович Б.А. Реальная оценка точности места судна, определенного астрономическими методами. *Записки по гидрографии*, № 223, с.25-31, 1989.
- Гаврюк М.И. Астронавигационные определения места судна. М., *Транспорт*, 176 с., 1973.
- Дьяконов В.Ф. Определение места судна по солнцу. Л., *Морской транспорт*, 240 с., 1958.
- Кондрашихин В.Т. Определение места судна. М., *Транспорт*, 232 с., 1989.
- Красавцев Б.И. Инструменты и методы мореходной астрономии. М., *Транспорт*, 86 с., 1966.
- Международная Конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДМНВ-78). Резолюция ИМО 2750 С (XXV). СПб, ЦНИИМФ, 9 с., 1993.
- Рыбалтовский Н.Ю. Практическая мореходная астрономия. М., *Транспорт*, 126 с., 1964.