

.СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ

Свешников¹ М.Л., Свешников² А.М., Павлов¹ Д.А., Лукашова¹ М.В.

¹Институт прикладной астрономии РАН; ²Чешский технический университет (CVUT), Прага

В рамках работы по созданию электронной версии «Морского астрономического ежегодника» разработана программа для решения основных задач морской астронавигации. Программа написана в среде Windows на языке C++ и использует 2D графическую библиотеку Cairo. Задание осуществляется с помощью графической оболочки. Решение представляется в графической форме (планшета) и контрольного протокола решения в текстовой форме. При решении могут быть использованы как МНК, так и метод Кондрашихина.

Исключительно важным направлением развития морских астронавигационных эфемерид является создание программных комплексов для решения судоводительских задач [1]. В ИПА РАН была поставлена задача разработки специализированной астронавигационной системы «Навигатор». В качестве первого этапа в ИПА РАН на основе комплекса ERA, дополненного системой Дельта, разработана интерактивная система удалённого доступа «Штурман». Система предназначена для решения задач, описанных в двухгодичном «Морском астрономическом альманахе» (МАО-2), с точностью 0.1', соответствующей этому изданию. Пользователь вызывает через Интернет страницу с системой и в диалоговом окне задачи задает исходные данные. После вычислений выдается протокол решения в форме, принятой в объяснении к МАО-2. Система «Штурман» имеет учебно-методическую направленность и доступна на сайте Института по адресу <http://shturman.ipa.nw.ru>.

Однако система «Штурман» обладает рядом недостатков: фиксированная точность решения 0.1', небольшой набор примеров и неавтономность (зависимость от Интернета). Поэтому необходимо создание полноценной электронной версии МАО-2 и «Морского астрономического ежегодника» (МАО) (адмиралтейский номер №9002). Планируется, что эта система — «Навигатор» — будет обладать характеристиками, учитывающими пожелания штурманов ВМФ РФ.

Целью настоящей работы является разработка формы решения типовых задач морской астронавигации, связанных с определением места судна и поправки компаса для последующего применения в системе «Навигатор».

Определение места судна (ОМС) основывается на измерениях высот светил (звезд, Солнца, планет). На рис. 1 показаны измерения высот h_1 , h_2 , h_3 трех звезд в моменты T_1 , T_2 , T_3 при движении судна во время наблюдений со скоростью V .

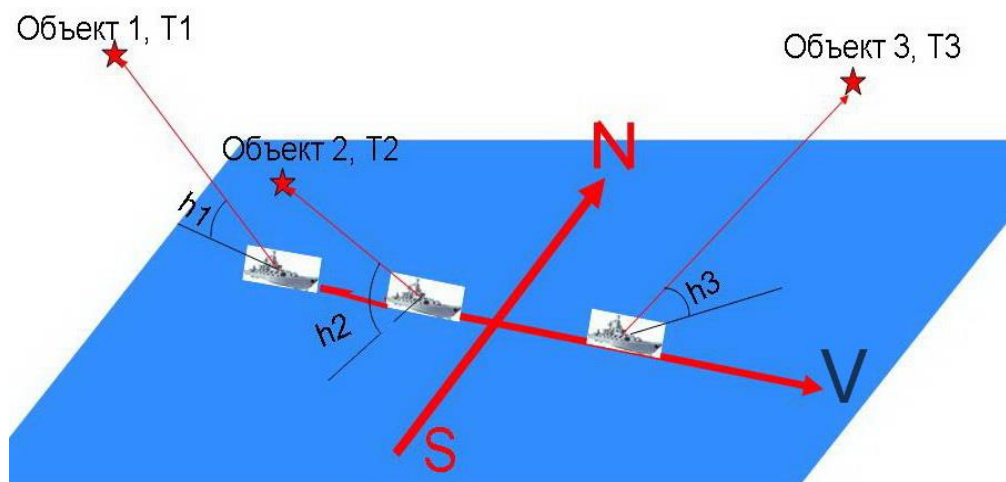


Рис. 1. Положение судна определяется на последний момент T_3 .

Задание входных параметров осуществляется с помощью графической оболочки, обеспечивающей редактирование, диагностику входных параметров и запуск задачи. При программировании диалогового интерфейса использовались средства CWA (Creating Windows Applications) в среде Visual Studio 2010 Ultimate. Введение данных производится заполнением соответствующих полей в стартовой странице (Рис. 2). При ошибочном задании значений возникает сообщение об ошибке

Рис. 2. Вид панели для ввода навигационной информации и измерений высот для случая 4-х объектов.

Более сложные диалоговые окна (boxes) содержат альтернативные значения параметров из фиксированного списка. Так бокс с названием «Объект» содержит названия: Солнце, Луна, названия планет от Меркурия до Нептуна, обозначения 160-ти стандартных навигационных звезд и 108-ми дополнительных звезд с $m < 4.0$. Данные наблюдений для какого-либо объекта могут быть исключены, и в дальнейших расчетах этот объект не будет участвовать. Для ОМС по 3-м или 4-м объектам возможен выбор метода решения: МНК с равными или неравными весами высотных линий положения (ВЛП) или метод Кондрашихина [2], учитывающий корреляционные связи между ВЛП.

При запуске задачи происходит передача данных в соответствующую вычислительную программу, написанную в среде Windows на языке C++. Данные наблюдений каждого объекта усредняются с учетом параметров движения судна и выявлением грубых измерений по малой выборке. Далее в программе используются фундаментальные эфемеридные данные Солнца, Луны и планет по теории EPM-2004, созданной в ИПА РАН, каталог звезд, основанный на данных FK6/HIPPARCOS, и значения параметров вращения Земли (ПВЗ), публикуемые на сайте ИПА РАН. Рефракция учитывается по Пулковским таблицам 1985 г. Вычисления топоцентрических эфемеридных высот и азимутов светил ведутся с полной точностью $0.01''$, характерной для «Астрономического ежегодника». При использовании же МАЕ или МАА-2 точность составляет $0.1' = 6''$, а при «ручных» вычислениях, кроме того, используются таблицы ТВА-57, допускающие ошибку до $0.3'$. Редукция наблюдений производится в соответствии с рекомендациями МАС 2000-2012 гг. В случае выбора точности

вычислений в $0.1'$ или $0.01'$ вычисление нутации и прецессии ведутся по сокращенным рядам.

Решение в графической форме (с выводом на планшет) осуществляется с помощью 2D графической библиотеки *Caigo*, согласованной с C++. Вид планшета для разных задач представлены на рис. 3-6. Вывод планшета и протокола на дисплей и их запись в форме файлов типа *.png и *.txt соответственно осуществляется операторами CWA.

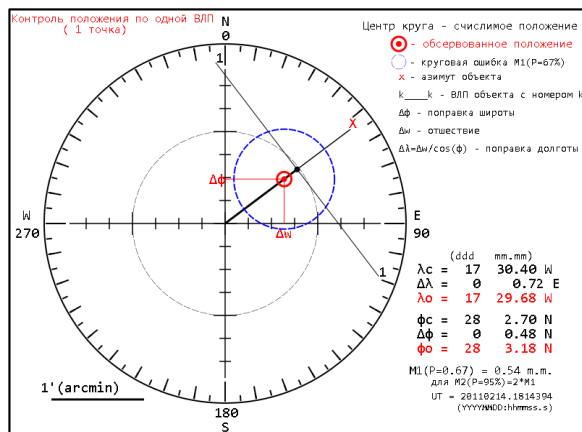


Рис. 3. Контроль места по одной ВЛП.

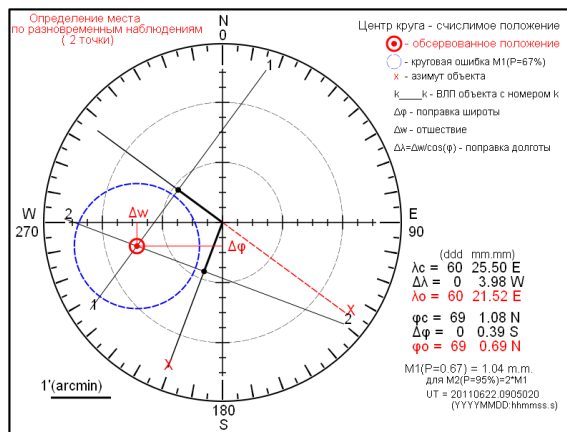


Рис. 4. ОМС по 2-м разновременным наблюдениям Солнца.

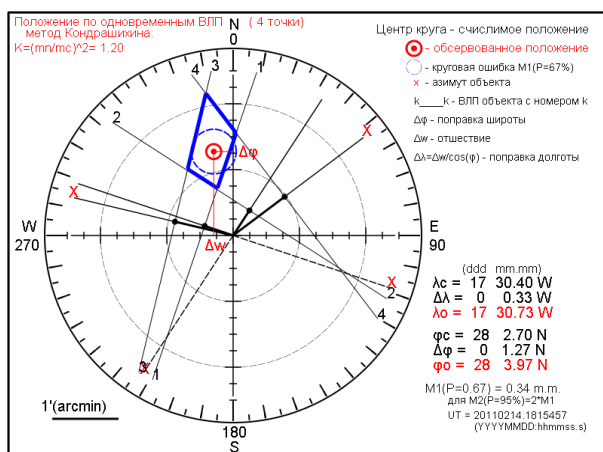


Рис. 5. ОМС по одновременным наблюдениям 4-х звезд (метод Кондрашихина).

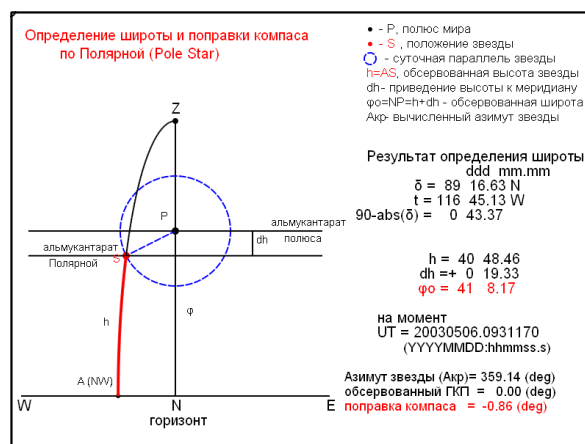


Рис. 6. Определение широты и поправки компаса по Полярной.

На рис. 3-5 приведены направления на наблюдаемые объекты (азимуты), положения ВЛП, фигура погрешности положения для 4-х звезд, obserвованное место (красная точка), сдвиг по широте $\Delta\phi$ и отшествие $\Delta\omega$ относительно счислимых координат. Указаны значения obserвованных координат и радиальной ошибки определения для вероятности $P = 67\%$. На рис. 6 показано положение Полярной на небесной сфере в момент наблюдения и результаты определения широты и поправки компаса (ГКП). Кроме того, пользователю предоставляется контрольный протокол решения с исходными данными, промежуточными вычислениями и результатом решения задачи.

Сравнение результатов, полученных при ОМС по 4-м и 3-м звездам разными методами, приведено в табл.1. Видно, что, результаты определения оценок $\Delta\lambda$ и $\Delta\phi$, полученные по 4-м и 3-м звездам, хорошо согласуются. Результаты по наблюдениям 2-х звезд оказались менее точными ($\Delta\lambda=0.05' E$, $\Delta\phi=1.55' N$, $M1=0.90'-2.3'$) и зависящими от разности азимутов наблюдаемых звезд. Результаты по 1-ой звезде отличаются от представленных в табл. 1, хотя их формальная ошибка $M1$ подучается малой.

Табл. 1. Сопоставление некоторых методов решения для ОМС.

| Параметры | ОМС по 4-м звездам | | | ОМС по 3-м звездам | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | МНК (веса равные) | МНК (веса разные) | метод Кондра- шихина | МНК (веса равные) | МНК (веса разные) | метод Кондра- шихина |
| $\Delta\lambda$ | 0.'32 W | 0.'29 W | 0.'33 W | 0.'45 W | 0.'46 W | 0.'31 W |
| $\Delta\varphi$ | 1.'20 N | 1.'20 N | 1.'27 N | 1.'32 N | 1.'35 N | 1.'26 N |
| M1(P=67%) | $\pm 0.'61$ | $\pm 0.'34$ | $\pm 0.'34$ | $\pm 0.'78$ | $\pm 0.'44$ | $\pm 0.'45$ |

Таким образом, наиболее надежной является обсервация, полученная по 4 линиям положения, имеющим попарно обратные азимуты. ОМС по трем линиям положения дает возможность установить только грубые промахи, но не позволяет изучить возможные систематические погрешности. Обсервация по двум ВЛП не является надежной и рассматривается только как ориентировочная [3]. Обсервацию по 1 ВЛП следует использовать лишь в исключительных случаях.

Заключение. Предложенная структура формирования задач является удобной для использования. На ее основе может создаваться вычислительный комплекс планируемой системы «Навигатор». Следует подчеркнуть, что, создание электронной версии МАЕ и МАА-2 не означает завершения издания бумажных носителей эфемеридной морской астронавигационной информации. Недаром не только у нас в стране, но и за рубежом, несмотря на огромный технический прогресс в области электронной вычислительной техники и создания развитых спутниковых навигационных систем, до сих пор издаются различные морские пособия и таблицы. Ни одно судно не имеет право выйти в море без аналогов МАЕ и «Мореходных таблиц».

Литература

1. Глбова Н. И., Лукашова М. В., Нецветаев И. Н. и др. Модернизация морских навигационных эфемерид // Труды конференции «Навигация, гидрография и океанография (НГО-2011)», 2011, с.252-256.
2. Скубко Р. А., Шкатов М. Ю. Мореходная астрономия. 2004, СПб: СПб ВМИ, т. 2, 270 с.
3. Гагарский Д. А. Мореходная астрономия. 2014, М: Морречцентр, 200 с.