

## Астронавигационная система «Навигатор»

© М. В. Лукашова, М. Л. Свешников, Е. Ю. Парийская, Д. А. Павлов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлена разрабатываемая программная система «Навигатор» на примере решения некоторых задач морской астронавигации разными методами. Система «Навигатор» не только вычисляет эфемеридные данные, являясь электронной версией «Морского астрономического ежегодника», но и позволяет решать типовые задачи морской астронавигации, связанные с определением места судна и поправкой компаса. Ввод задания осуществляется с помощью графического интерфейса пользователя. Решение представляется в графической форме и текстовой — в виде протокола решения.

**Ключевые слова:** астронавигационная система, определение места судна, поправка компаса, азимутальный метод, высотный метод.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.46.87-93>

### Введение

Исключительно важным направлением развития морских астронавигационных эфемерид является создание программного обеспечения (ПО) для решения судоводительских задач. В связи с этим в ИПА РАН ведется разработка специализированной астронавигационной программной системы (ПС) «Навигатор» [1].

Система будет не только предоставлять пользователю эфемеридные данные повышенной точности (до 0.01'), являясь электронной версией «Морского астрономического ежегодника» (МАЕ) [2], но и позволит решать типовые задачи морской астронавигации, связанные с определением места судна (ОМС) и определением поправки компаса (ОПК). ПС «Навигатор» будет обладать характеристиками, учитывающими пожелания штурманов ВМФ России.

Целью настоящей статьи является представление работы ПС на примере решения некоторых задач морской астронавигации разными методами. ОМС основывается на измерениях высот и азимутов светил, а ОПК — на измерениях пеленгов навигационных светил. Во время наблюдений измерения светил производятся секстаном для нескольких объектов в процессе движения судна, что осложняет задачу.

Программа разрабатывается в среде Windows на языке C++ и использует 2D графическую библиотеку Cairo. Ввод задания осуществляется с помощью

графического интерфейса пользователя. Решение представляется в графической форме и в текстовой — в виде протокола решения. При решении используются метод наименьших квадратов или метод Кондрашихина. ПС «Навигатор» представляет собой автономную систему, которую можно установить на компьютер.

В программе используется созданная в ИПА РАН фундаментальная эфемерида планет и Луны EPM2017, обеспечивающая вычисление экваториальных координат светил с заданной точностью в пределах интервала 1787–2214 гг. В ПС используется каталог звезд, основанный на данных FK6/HIPPARCOS и значения параметров вращения Земли, публикуемые на сайте ИПА РАН. Рефракция учитывается по Пулковским таблицам 1985 г. [3]. Если по данным МАЕ точность эфемеридных данных составляет  $0.1' = 6''$ , а при «ручных» вычислениях используются таблицы ТВА–57, допускающие ошибку до  $0.3'$ , вычисления эфемеридных высот и азимутов светил в ПС «Навигатор» ведутся с полной точностью  $0.01''$ , характерной для «Астрономического ежегодника» (АЕ) [4].

### Панели задач системы

Общая структура решения задач по ОМС и ОПК представлена на рис. 1. Здесь:  $\lambda_c$ ,  $\varphi_c$  — счислимые долгота и широта судна;  $V$  — скорость судна;

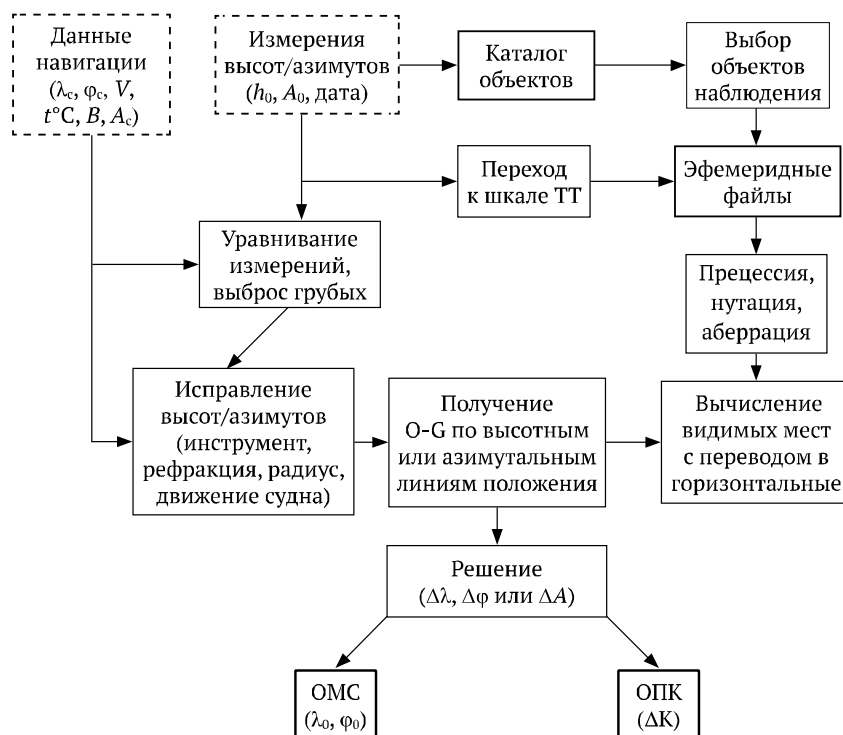


Рис. 1. Общая структура решения задач по ОМС и ОПК

$t$ ,  $B$  — температура (в град.) и давление в месте наблюдения соответственно;  $A_c$  — счислимый азимут судна;  $h_0$ ,  $A_0$  — наблюдаемые высота и азимут светила;  $\Delta\lambda$ ,  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta A$  — вычисленные поправки к координатам судна и азимуту светила;  $\lambda_0$ ,  $\varphi_0$ , — координаты судна;  $\Delta K$  — поправка компаса.

Ввод исходных параметров осуществляется с помощью графического интерфейса, обеспечивающего редактирование, диагностику входных данных и запуск процесса решения задач (рис. 2). На основе разработанной структуры формирования задач создается вычислительный комплекс системы «Навигатор».

Вывод решения производится на планшет в графической форме (рис. 3) и в виде текстового протокола.

В настоящее время в системе производятся расчеты ОМС высотным методом по одновременным и разновременным наблюдениям до 4-х светил, а также по двум разновременным наблюдениям Солнца, ОМС — азимутальным методом по одновременным наблюдениям до 4-х светил и ОПК — по Полярной звезде. На языке С++ подготовлено 12 задач из числа примеров к объяснению МАЕ, и задача перевода координат между принятыми на практике референц-эллипсоидами.

Определение места по (2, 3, 4) одновременным наблюдениям

Навигационные данные

$\Delta T$  67 сек.

$T_c$  14-02-2011 17:50

$\varphi_c$  28 ° 2.70 ' N

$\lambda_c$  17 ° 30.40 ' W

Мсп 0.5 '

N 1 ч 00 м W

ИК 48.0 °

$V_c$  15.0 уз

$e$  17.5 м

$i$  1.5 '

$e$  -0.5 '

$t$  20.0 °C

$B$  765.0 мм рт. ст.

$u$  0 м -20.6 °C

метод решения метод Кондрашкина

Вычислить результат

Точность решения максимально возможная

Наблюдения

Объект 29 y Ориона(Беллатрикс) Край центр

Азимут (круговой) 110.0 °

Время	Отсчет секстанта
T1 5 ч 59 м 05 с	OC1 42 ° 27.3 '
T2 5 ч 59 м 35.0 с	OC2 42 ° 33.6 '
T3 6 ч 0 м 05 с	OC3 42 ° 39.9 '
T4 6 ч 00 м 35 с	OC4 42 ° 46.2 '
T5 6 ч 01 м 05 с	OC5 42 ° 52.5 '
T6 ч м с	OC6 ° '
T7 ч м с	OC7 ° '
T8 ч м с	OC8 ° '
T9 ч м с	OC9 ° '

Очистить данные наблюдений

Рис. 2. Вид панели для ввода навигационной информации и измерений высот

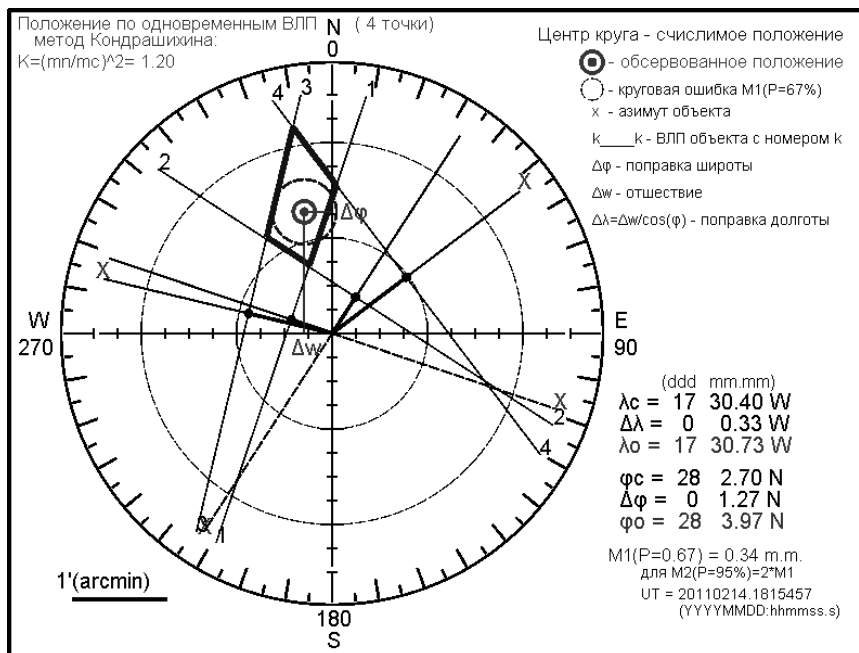


Рис. 3. Графический вывод решения задачи ОМС по высотам 4-х звезд

## Планетарий системы

Завершена работа над ПО поисковой части системы «Навигатор» — блоком планирования наблюдений. ПО «Планетарий» представляет собой графическую интерактивную среду, которая позволяет получать изображения звездного неба, всей небесной полусферы или ее увеличенной части для любого момента времени из любой точки земного шара. Итоговая точность вычисления положений объектов на ПО «Планетарий» зависит от размера экрана, но должна быть не хуже 1.5'.

ПО «Планетарий» предназначено для решения следующих задач:

- определение начала и конца интервала наблюдений для заданной даты;
- определение общей ситуации на заданный момент времени в заданном месте;
- подбор опорных звезд для наблюдений (для  $30^\circ < h < 60^\circ$  и заданных азимутов);
- идентификация светил по основным характеристикам ( $T, \lambda, \varphi, h, A$ ).

Каталог навигационных звезд МАЕ (170 объектов), изначально предполагаемый для использования в ПС «Планетарий», был расширен до 357 звезд для лучшей опознаваемости светил.

На рис. 4 представлен общий вид главного окна ПО «Планетарий». На панели слева можно задать дату, время и координаты (долготу и широту) наблюдателя. Этим координатам будет соответствовать центр планисферы.

На планисфере отображаются все видимые объекты расширенного каталога МАЕ для заданного момента времени и заданной точки наблюдателя. Можно задать максимальное значение звездной величины видимых звезд. Ниже на панели: параметры суточного движения планисферы (шаг и скорость вращения), которые задаются, и кнопка запуска анимации. На управляющей панели можно включить режим показа созвездий и выбрать язык надписей. Цвет фона соответствует дневной освещенности неба.

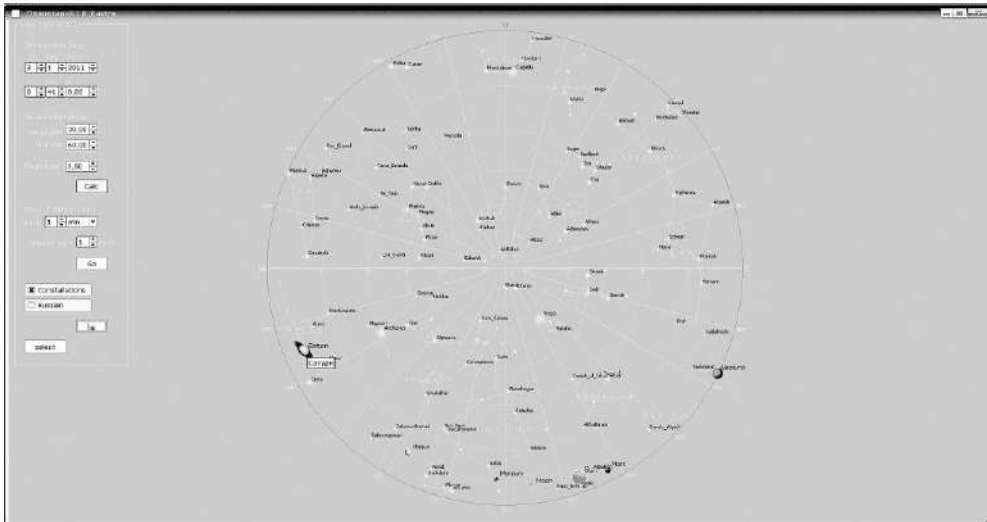


Рис. 4. Общий вид главного окна ПС «Планетарий»

Разработан также режим выборки опорных звезд для наблюдений. Возможно задание пользователем до шести опорных звезд. Для удобства выбора планисфера делится на сектора, количество которых соответствует числу опорных звезд. Предусмотрена возможность вращения линий разбиения по планисфере с помощью чувствительной кнопки на одном из лучей разбиения.

### Сравнение рефракций

Для использования в ПО «Навигатор» была произведена работа по сравнению различных моделей рефракции.

На рис. 5 даны графики средней рефракции, поправок, учитывающих температуру, давление и влажность для различных моделей. Видно сильное различие значений для значений рефракции у горизонта (для  $h < 5^\circ$ ). При этом следует учесть, что ошибки моделей в целом могут складываться из отдельных ошибок для параметров (средней рефракции, температуры, давления, влажности), что может привести к значительной неопределенности в значении рефракции вплоть до минут дуги.

Из графиков видно, что для точного описания рефракции можно использовать:

— Пулковские таблицы (модель Pu-85) — в тех случаях, когда нет ограничений на объем программы;

— модель BDL [5] (на рис. 5 выделена жирной линией), для всех условий и высот дающую точность порядка 1" (а для  $h < 5^\circ$  не более 2") по отношению к Pu-85 — при ограничениях на объем программы.

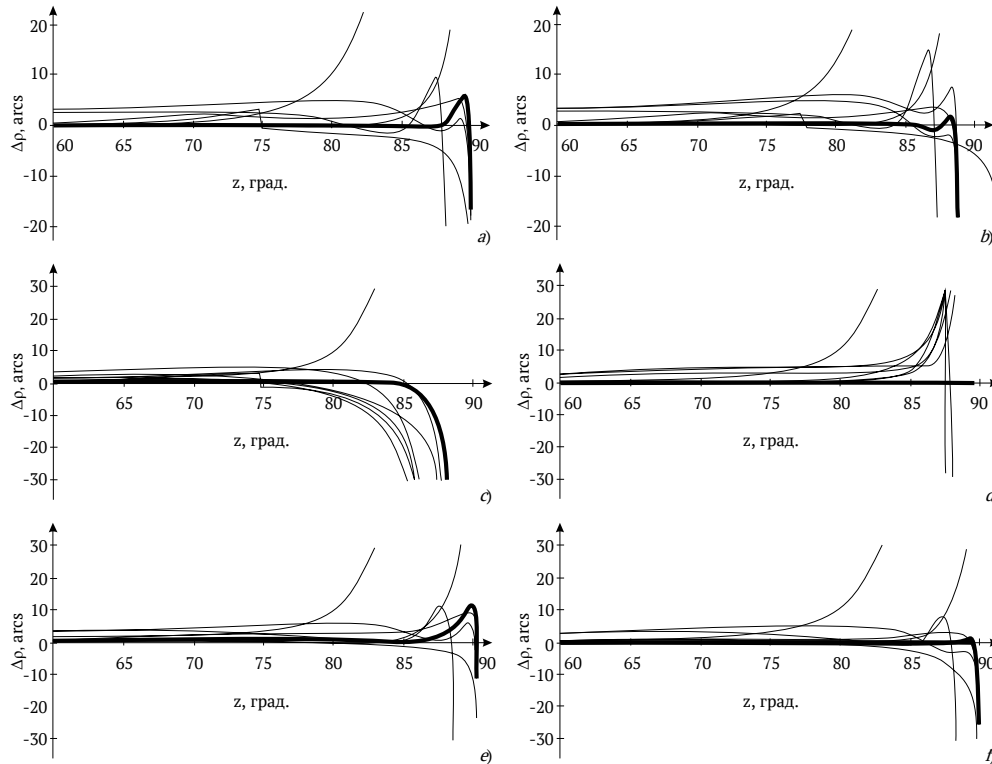


Рис. 5. Сводка сравнения рефракций с Pu-85:  $\Delta\rho$  — разность рефракции с Pu-85,  $z$  — зенитное расстояние светила. На рисунках приведены: а) разность средних рефракций; б) разность поправок за давление при 790 Hg; в) разность поправок при  $t = -30^\circ\text{C}$ ; д) разность поправок при  $t = +30^\circ\text{C}$ ; е) разность поправок за влажность при  $rh=90\%$ ; ф) разность поправок за широту при  $\varphi=80^\circ$

### Используемые референц-эллипсоиды

В программе могут использоваться несколько референц-эллипсоидов с разными способами переходов между ними: ПЗ-90.11, ПЗ-90.02, ПЗ-90, WGS, СК-42, СК-95, ITRF2008.

Для переходов между эллипсоидами предусмотрено использование разных методов: точный способ Молоденского, средний (стандартный) метод Молоденского (точность преобразования координат, близкая к  $\pm 2$  м) и штурманский метод, представляющий собой сокращенный вариант формул М. С. Молоденского, упрощенный для удобства работы штурманов.

## Заключение

Следует отметить, что несмотря на появление спутниковых и инерциальных навигационных систем мореходная астрономия до сих пор сохраняет свое значение. Например, поправка компаса, как суммарное влияние земного и судового магнитного поля на магнитную стрелку компаса, в открытом море определяется пока только астрономическими методами. Постоянный же учет поправки компаса на каждой вахте, при смене курса, после стрельб и т. д., является одним из важнейших условий безопасного и экономичного плавания. В связи с этим работы по ПС «Навигатор» следует считать актуальным направлением в развитии средств морской астронавигации.

## Литература

1. *Свешников М. Л., Свешников А. М. и др.* Система для решения основных задач мореходной астрономии / Свешников М. Л., Свешников А. М., Павлов Д. А., Лукашова М. В. // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2016. — Вып. 39. — С. 91–97.
2. Морской астрономический ежегодник на 2019 год / ИПА РАН; под ред. М. В. Лукашовой — СПб.: ИПА РАН, УНиО, 2018. — 336 с.
3. Таблицы рефракции Пулковской обсерватории / под ред. В. К. Абалакина — Л.: Наука, 1985. — 48 с.
4. *Брумберг В. А., Глебова Н. И. и др.* Расширенное объяснение к Астрономическому ежегоднику / Брумберг В. А., Глебова Н. И., Лукашова М. В., Малков А. А., Питьева Е. В., Румянцева Л. И., Свешников М. Л., Фурсенко М. А. // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2004. — Вып. 10. — 488 с.
5. *Simon J.-L., Chapron-Touze M., et al.* Introduction aux éphémérides astronomiques. Supplément explicatif a la Connaissance des Temps. — Paris: BDL, 1997. — 450 p.

## The “Navigator” Astronavigation Software System

**M. V. Lukashova, M. L. Sveshnikov, E. Yu. Pariyskaya, D. A. Pavlov**

The purpose of this article is to present the “Navigator” software system on the example of its solutions for some naval astronavigation tasks using various methods. The “Navigator” System does not calculate only the ephemeris data being the electronic version of “The Naval Astronomical Yearbook”. It solves also many standard naval astronavigation problems such as vessel tracking and compass correction. At this stage, the system determines the vessel’s location using the elevation method during its simultaneous or non-simultaneous observations of 1, 2, 3 or 4 stars, two non-simultaneous observations of the Sun, and the azimuth method during its simultaneous observations of 1, 2, 3 or 4 stars. Also, it makes compass corrections by Polaris. Tasks are inputted via its graphical interface. Solutions are presented either in the graphical form or as a text of the decision protocol.

**Keywords:** astronavigation system, vessel’s location determination, compass corrections, azimuth method, elevation method.