

ВВЕДЕНИЕ

Исключительно важным направлением развития морских астронавигационных эфемерид является создание программных комплексов для решения судоводительских задач. В ИПА РАН поставлена задача разработки специализированной астронавигационной программной системы (ПС) Навигатор.

Система будет не только предоставлять пользователю эфемеридные данные, являясь электронной версией «Морского астрономического ежегодника» (МАЕ) (адмиралтейский номер № 9002) повышенной точности (до 0.01"), но и решать типовые задачи морской астронавигации, связанные с определением места судна (ОМС) и поправкой компаса (ОПК). Планируется, что Навигатор будет обладать характеристиками, учитывающими пожелания штурманов ВМФ России.

Целью настоящей работы является представление образца 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. Измерения светил производятся секстаном для нескольких объектов при движении судна во время наблюдений, 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 (планшет) и протокола решения в текстовой форме. При решении используются МНК или метод Кондрашихина. Навигатор также должен представлять собой автономную систему, распространяемую на CD-носителе.

В программе используется фундаментальная эфемериды EPM2017, созданная в ИПА РАН, обеспечивающей вычисление экваториальных координат светил с заданной точностью в пределах интервала 2015–2065гг. В ПС используется каталог звёзд, основанный на данных FK6/HIPPARCOS и значения параметров вращения Земли (ПВЗ), публикуемые на сайте ИПА РАН. Рефракция учитывается по Пулковским таблицам 1985 г. В то время как при использовании МАЕ или МАА-2 точность эфемерид составляет 0.1' = 6", а при «ручных» вычислениях, кроме того, 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 АЕ.

Панели задач системы

Общая структура решения задач представлена на рис. 1.

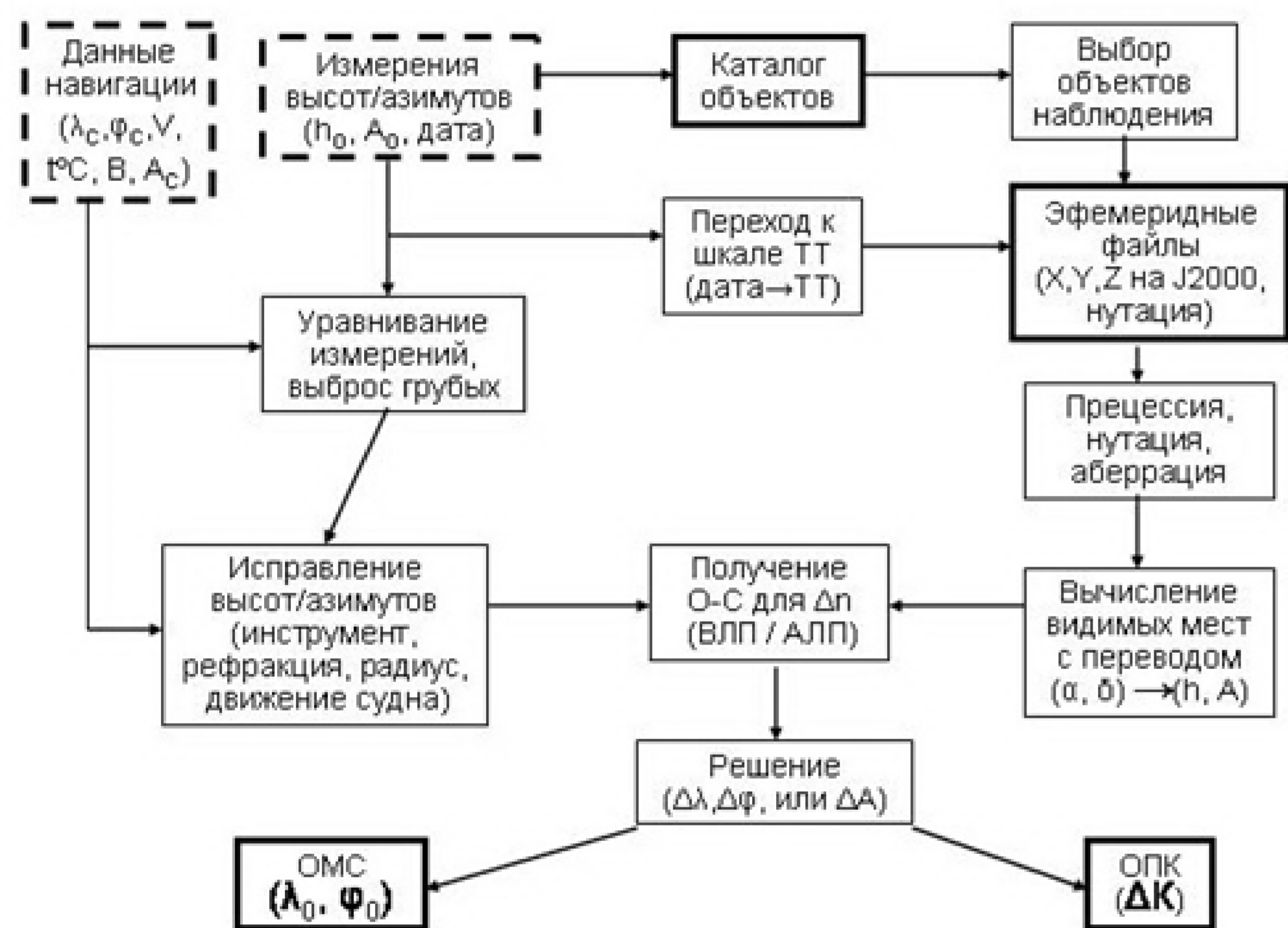
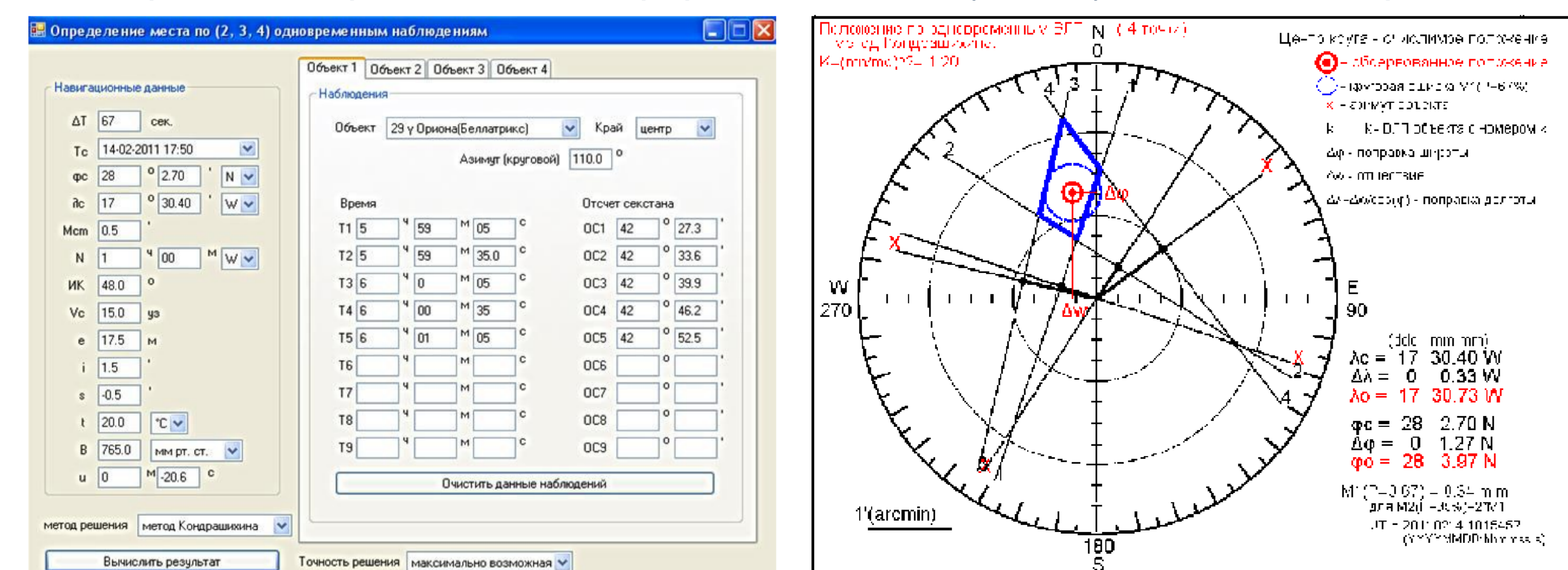


Рисунок 1. Общая структура решения задач по определению ОМС и ОПК

Задание входных параметров осуществляется с помощью графического интерфейса, обеспечивающего редактирование, диагностику входных параметров и запуск задачи (Рис. 2). Выработанная структура формирования задач является удобной для использования. На её основе создаётся вычислительный комплекс планируемой системы Навигатор.

Вывод решения производится в форме планшета (Рис. 3) и текстового протокола.



Рисунки 2,3. Вид панели для ввода навигационной информации и измерений высот, графический вывод решения ОМС по высотам 4-х звёзд

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

Планетарий системы

Завершена работа над ПО поисковой части системы Навигатор – блоком планирования наблюдений (Планетарий). Планетарий представляет собой

графическую интерактивную среду, которая позволяет получать изображения звёздного неба для любого момента времени и любой точки земного шара как для всей небесной полусферы целиком, так и для её увеличенной части. Итоговая точность вычисления положений объектов на планетарии зависит от размера экрана, но должна быть не хуже 1.5 минуты дуги.

Планетарий предназначен 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 звёзд для наблюдений (для $30 < h < 60$ и заданных азимутов);
- идентификация светил по основным характеристикам (Т, λ, φ, h, А).

Каталог навигационных звёзд МАЕ (170 объектов), изначально предполагаемый для использования в ПО Планетарий, в 2017 г. был расширен до 357 звёзд.

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 звёздной величины видимых звёзд. Ниже на панели задаются параметры сutoчного движения планисферы (шаг и скорость вращения), кнопка запуска анимации. На управляющей панели можно включить режим показа созвездий и выбрать язык надписей. Цвет фона соответствует дневной освещённости неба:



Рисунки 4, 5. Общий вид главного окна Планетария и пример режима выборки 4-х опорных звёзд

Рис. 5 демонстрирует режим выборки опорных звёзд для наблюдений. Возможно задание пользователем до шести опорных звёзд. Для удобства выбора планисфера делится на сектора, количество которых соответствует числу опорных звёзд (жёлтые линии на рисунке). На рисунке выбрано 4 опорных звезды, соответственно планисфера поделена на 4 сектора. Предусмотрена возможность вращения разбиения по планисфере с помощью чувствительной кнопки на одном из лучей разбиения (зелёный кружок на рисунке справа планисферы).

Сравнение различных рефракций

Для использования в Навигаторе была произведена работа по сравнению различных моделей рефракции.

На рис. 6 даны графики средней рефракции, поправок за температуру, давление и влажность для различных моделей. Видно сильное различие значений для значений рефракций 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 неопределённости в значении рефракции вплоть до минут дуги.

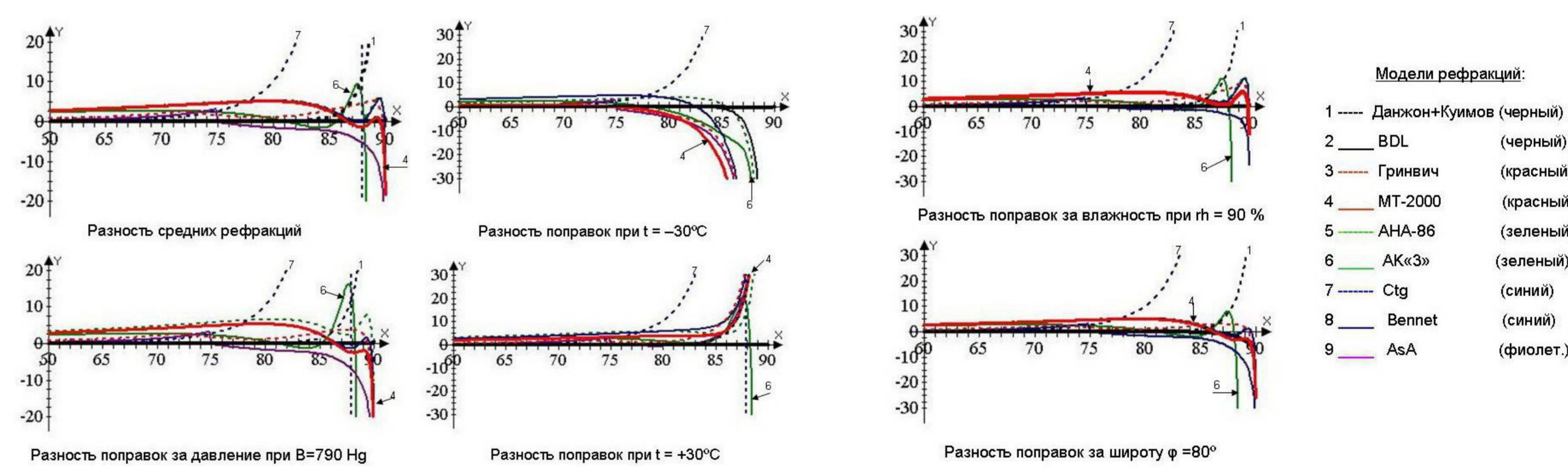


Рисунок 6. Сводка сравнения рефракций с Pu-85. Z – по оси x, Δp – по оси y

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

- В тех случаях, когда нет ограничений на объем программы, лучше всего использовать Пулковские таблицы (модель Pu-85, раздел2).
- При ограничениях на объем программы применять модель BDL (раздел 3.1), дающую точность для всех условий и высот порядка 1" (а для $h < 5^\circ$ не более 2") по отношению к Pu-85.

Заключение

Следует отметить, что, несмотря на появление спутниковых и инерциальных навигационных систем, мореходная астрономия ещё сохраняет своё 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 учёт 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.