

УДК 621.396 : 656.61.052

Аппаратурно-программный комплекс для исследования особенностей GPS позиционирования при плавании в бассейне Арктики

А.Н. Калитёнков¹, Н.В. Калитёнков¹, В.И. Милкин¹, А.В. Гурин¹,
С.А. Черноус²

¹ Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра радиотехники
и радиотелекоммуникационных систем,

² Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Аннотация. Полярная ионосфера как среда распространения информационно-навигационных радиосигналов является неоднородной, нестационарной и неравновесной. Одним из индикаторов возмущенности ионосферы являются полярные сияния. Цель настоящей работы – представить карты овала полярных сияний в меркаторской проекции и создать программно-аппаратурный комплекс для исследования связи между пространственно-временной динамикой форм полярных сияний и точностью позиционирования с помощью GPS в интересах обеспечения безопасного мореплавания в Арктике.

Abstract. The polar ionosphere as a medium for propagation of informational and navigational signals is heterogeneous, non-stationary and non-equilibrium. Aurora is one of indicators of the ionosphere disturbances. The aim of the work is to create equipment complex for investigating relations between spatial and time dynamics of aurora and accuracy of GPS positioning in order to secure safe navigation in the Arctic.

Ключевые слова: GPS позиционирование, безопасность мореплавания, геомагнитная буря, полярные сияния
Key words: GPS navigation, navigation safety, geomagnetic storm, aurora

1. Введение

Ранее нами были проведены эксперименты по одновременной регистрации вариаций погрешностей позиционирования с помощью GPS, возмущений геомагнитного поля и пространственно-временного положения форм полярных сияний. Для сравнения вариаций положения форм полярных сияний по наземным данным с вариациями погрешности позиционирования использовались данные наблюдений полярных сияний в обсерваториях Скандинавского полуострова. Найдено, что как максимальные погрешности позиционирования, а в отдельных случаях и полное нарушение работы СНС, регистрировались одновременно с появлением форм сияний. Анализ этих и других полученных в эксперименте материалов дает основания полагать, что амплитуда вариаций геомагнитного поля гораздо менее информативна в качестве диагностического признака ошибок позиционирования GPS в высоких широтах, чем пространственно-временные вариации интенсивности форм полярных сияний. Поэтому при плавании в высоких широтах для определения районов, в которых возможны нарушения работы GPS (сбои, уменьшение точности позиционирования), а также времени суток, когда такие нарушения будут отмечаться, использование только одной Н-компоненты геомагнитного поля не является достаточным, и необходимо искать пути создания модельных представлений безопасного навигационного процесса.

2. Модель возмущенной области ионосферы при плавании в Арктике

Опираясь на известную связь между величиной отклонения горизонтальной компоненты геомагнитного поля (по модулю) от невозмущенного уровня и индексом геомагнитной активности Q, мы построили карты положения овала полярных сияний как индикатора возмущения среды распространения для различных гелио-геофизических условий и разных моментов мирового (UT) времени. Изменение параметров аврорального овала (широта северной границы, широта южной границы) для конкретного интервала времени определяется динамикой Q-индекса и может носить взрывной характер. Динамика параметров аврорального овала для фиксированного значения Q-индекса определяется временем суток и характеризуется как медленная. В практике мореплавания для графического решения навигационных задач на карте в основном используется нормальная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора. При использовании данной проекции линия пути (локсодромия) изображается в виде прямой, и отсутствует искажение углов. Эти свойства максимально упрощают процедуру решения навигационных задач. Нами предложена программа для представления карт овала полярных сияний

именно в этой проекции с дальнейшей возможностью их совмещения с морской навигационной картой. В качестве примера на рис. 1, 2 представлены положения области полярных сияний для спокойных геомагнитных условий ($Q = 0$) и времени суток 00.00UT, а также для умеренно возмущенных геомагнитных условий ($Q = 4$) и времени суток 00.00UT как в географических координатах, так и в меркаторской проекции.

Карты позволяют для конкретных моментов времени и конкретных величин геомагнитного возмущения привязать области среды распространения информационно-навигационных радиосигналов, пораженные (Aarons, Lin, 1999) неоднородностями электронной плотности, к маршруту плавания или месту проведения специальных работ, что, в свою очередь, позволяет спланировать упреждающие действия по дублированию систем радиосвязи и радионавигации. Карты овала могут храниться на борту судна в электронном виде и использоваться по мере возникновения необходимости путем совмещения их с навигационной картой.

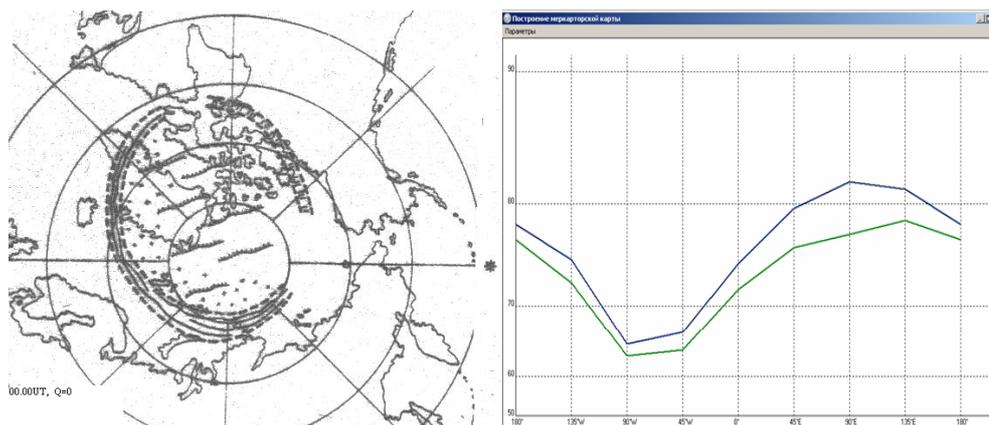


Рис. 1. Положение области полярных сияний в географических координатах и в меркаторской проекции для 00.00UT, $Q=0$

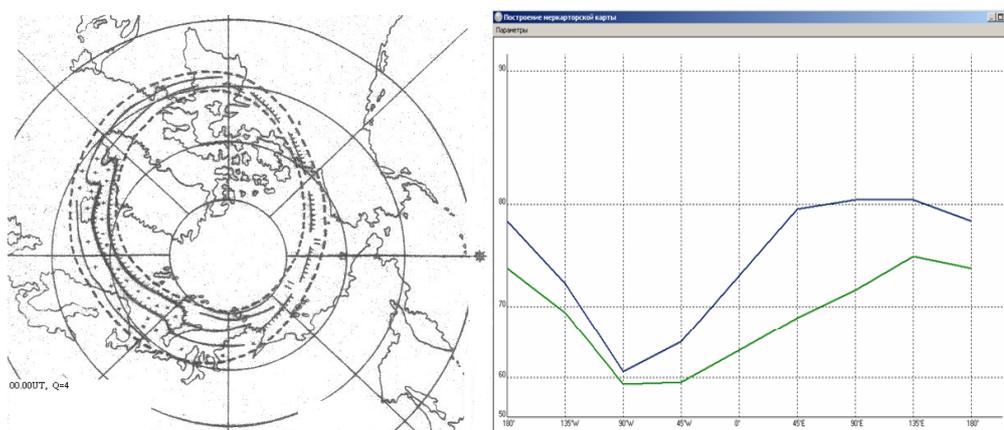


Рис. 2. Положение области полярных сияний в географических координатах и в меркаторской проекции для 00.00UT, $Q=4$

3. Полярные сияния и точность позиционирования с помощью GPS. Схема эксперимента

Карты овала полярных сияний не позволяют исследовать физические процессы и установить причины изменения точности позиционирования. В частности, используемые для анализа особенностей позиционирования кеограммы отражают наличие и расположение форм сияний в узкой полосе вдоль меридиана, а не по всему небосводу, и, кроме того, инструменты измерения, как правило, разнесены в пространстве. Было решено совместно с GPS приемником использовать камеру видеонаблюдения. В предложенной схеме камера, регистрирующая полярные сияния с полем зрения 170 градусов, и приемник GPS сигналов, диаграмма направленности антенны которого имеет аналогичный раскрыт, находятся на одной платформе. В этом случае поле зрения оптической камеры и диаграмма направленности антенны GPS приемника полностью совпадают, что позволяет установить наличие или отсутствие полярных сияний на трассе прохождения GPS сигнала, так как азимутальный угол и угол места конкретного навигационного спутника тоже известен.

4. Описание бокса с камерой всего неба. Принцип действия

В разработанном аппаратном комплексе используется видеокамера, снабженная объективом типа "рыбий глаз" с углом зрения, равным 170°. Поскольку оптическая ось камеры ориентирована вертикально вверх, то возникает необходимость защиты камеры от атмосферных осадков: дождя, снега. Эта задача решена посредством размещения камеры в боксе, снабженном автоматически управляемой крышкой. Выбор системы автоматического управления крышкой бокса опирался на условия оптимальности управления и минимизации количества механических узлов (редукторов, электродвигателя) обладающих невысокой антикоррозионной способностью. Была выбрана схема, представленная на рис. 3. Схема работает по принципу "перекидная крышка". Суть этого принципа заключается в том, что в самой крышке жестко установлен постоянный магнит, а перемещение крышки обеспечивают два электромагнита, один из которых работает на открывание, а другой на закрывание. При этом в крайних положениях из-за взаимного притяжения пары "магнит/электромагнит" ведут себя как защелки. Электромагниты подключаются с нужной полярностью к накопительному конденсатору, имеющему емкость 4700 мкФ и заряжаемому до напряжения 31 В. Выбранная конструкция электромагнитов, имеющих индуктивность около 10 мГн, и величина накапливаемой энергии конденсатора позволяют надежно перемещать крышку бокса в нужное положение.

5. Электрическая схема

В качестве напряжения, питающего разработанное устройство, выбрано напряжение величиной 15 В. Поскольку для работы накопителя необходимо напряжение, превышающее напряжение питания более чем в два раза, электрическая схема была дополнена преобразователем, выполненным на VT1, включенным по схеме блокинг-генератора.

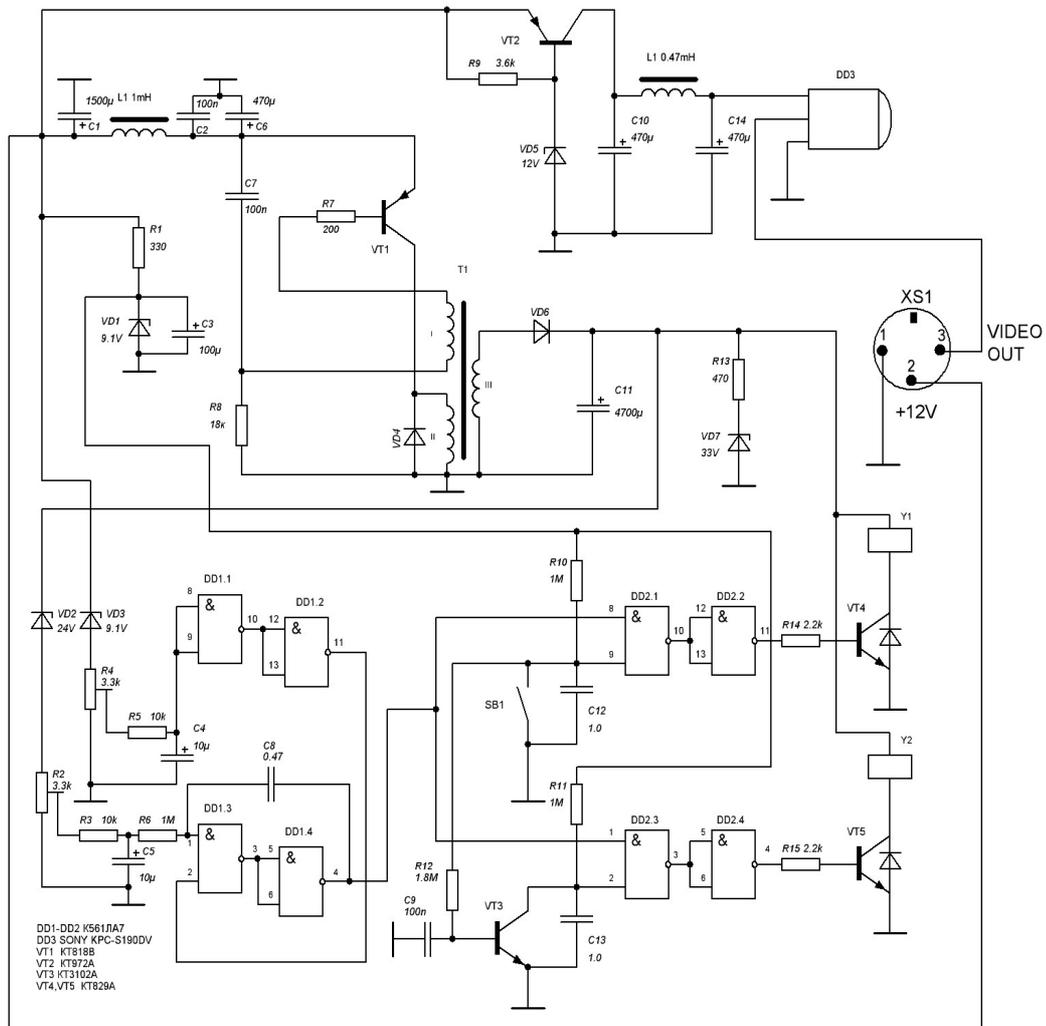


Рис. 3. Электрическая схема системы автоматического управления

Пороговая цепь VD2R2 подключена к накопительному конденсатору C11 и через НЧ фильтр запускает одновибратор на DD1.1, DD1.2. Одновибратор формирует положительный перепад напряжения длительностью около 0,5 с. Точная подгонка осуществляется подстроечным сопротивлением R3. Логика управления ключами VT4VT5 собрана на DD2. Входы 8 DD2.1 и 1 DD2.3 объединены и подключены к выходу одновибратора. Входы 9 DD2.1 и 2 DD2.3 подключены к датчику положения крышки – кнопке SB1 и инвертору на VT3 соответственно. Этим достигается правильная коммутация электромагнитов Y1Y2 при разных положениях крышки. Срабатывание ключей приводит к разряду C11. Далее процесс повторяется снова. При таком построении процесс открывания – закрывания будет осуществляться циклически с периодом около 26 с, связанный с зарядкой C11 (время заряда – 13 с). Фиксация крышки в открытом или закрытом состоянии производится снижением питающего напряжения с 15 В до 12 В. Датчиком здесь выступают пороговая цепь VD3R4 и DD1.1DD1.2 с НЧ фильтром R5C4. Точная подгонка осуществляется подстроечным сопротивлением R4. В качестве напряжения переключения выбрано напряжение величиной 13,5 В. Срабатывание порогового устройства ведет к блокировке одновибратора DD1.3DD1.4, а, следовательно, и DD2. Питание DD1DD2 осуществляется параметрическим стабилизатором VD1R1. Питание на блокинг-генератор подается через фильтр C1L1C2C6. Для стабилизации напряжения питания камеры применен узел VT2R9VD5 с фильтром C10L2C14. В зафиксированном положении крышки, когда одновибратор заблокирован, напряжение на C11 повышается до 42 В. Учитывая, что номинальное напряжение используемого конденсатора равно 35 В, для исключения перенапряжения в схему включена цепь VD7R13.

6. Программный комплекс

Для позиционирования использовался одночастотный 12-канальный приемник Garmin-172, установленный в Мурманске. Радиосигналы с приемника через COM порт поступали в компьютер. При обработке принятой с навигационных спутников информации использовалась программа VisualGPSXP. Эта программа позволяет определять как местоположение спутников, так и точность GPS позиционирования при наличии помех и возмущений среды распространения информационно-навигационных радиосигналов. Для захвата видеоизображения с камеры всего неба используется программа iuVCR версии v4.17.0.408. Данное приложение позволяет решить проблему зеркального отображения запада и востока принимаемой картинке с камеры с помощью использования встроенного фильтра uiLab Mirror. Применение фильтра Alparysoft Deinterlace Filter повышает четкость принимаемого изображения с камеры. Чтобы получить окончательную картину исследуемого явления и наложить изображения положения спутников и расположения полярных сияний, используется возможность операционной системы делать окна прозрачными. Для задействования этой функции применяется утилита Glass2k. Программное средство CamStudio v2.0 позволяет записать с экрана ПК область, где протекает исследуемый процесс.

7. Заключение

Таким образом, в работе представлены синоптические карты овала полярных сияний в меркаторской проекции и предложен программно-аппаратурный комплекс для исследования связи между пространственно-временной динамикой форм полярных сияний и точностью позиционирования с помощью GPS. Результаты представляют интерес для обеспечения безопасного мореплавания в бассейне Арктики.

Литература

Aarons J., Lin B.J. Development of high latitude phase fluctuations during the January 10, April 10-11, and May 15, 1997 magnetic storms. *Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, v.61, p.309-327, 1999.