

ВЛИЯНИЕ ВОСХОДА-ЗАХОДА СОЛНЦА НА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ СКОРОСТИ СУДНА ПРИЁМНИКОМ GP-37

Судовой приёмник спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS GP-37, изготавливаемый компанией Furuno, является типичным представителем нового поколения аппаратуры, появившейся после отмены режима искусственного загробления сигналов спутников. Летом и осенью 2005 года приёмник GP-37 впервые тестировался в Уссурийской астрофизической обсерватории (УАФО) ДВО РАН. Обработка результатов наблюдений позволила обнаружить присутствие ненулевой абсолютной скорости в данных, генерируемых приёмником. Поскольку антенна приёмника во время тестирования оставалась неподвижной, то эти показания следует рассматривать как погрешности измерения скорости. Была обнаружена закономерность в суточных распределениях погрешностей. Это можно видеть на *рис. 1*, на котором изображён график изменения осреднённых за 1 час значений погрешностей абсолютной скорости (в узлах) в летних наблюдениях.

На *рис. 1* прослеживается повторяющаяся последовательность ежесуточных минимумов и максимумов величин средней скорости.

На *рис. 2* представлен график суточных наблюдений погрешностей абсолютной скорости, осреднённых за 5 минут. Видимый максимум погрешностей приходится на 10 часов 52 минуты по шкале Универсального координированного времени (UTC), что соответствует поясному времени 21 часов 52 минут. Поэтому возникает предположение о том, что пик погрешностей возникает вследствие перестройки ионосферы, вызываемой заходом Солнца.

* Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, komarovskiy@msun.ru

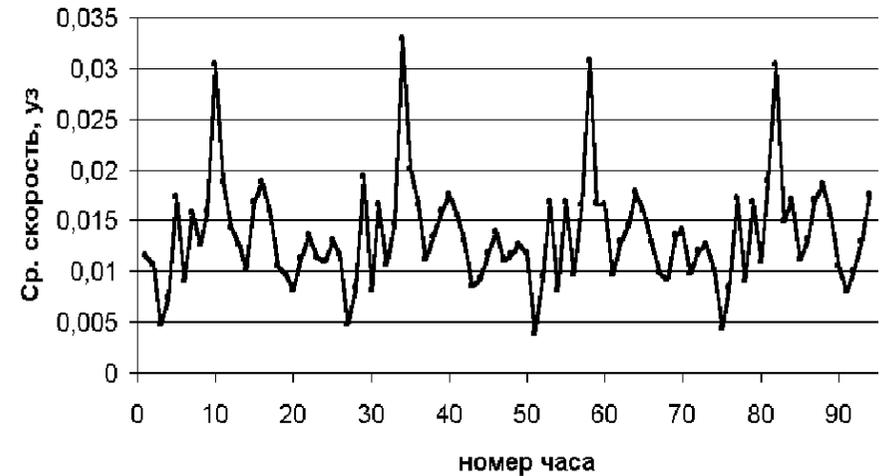


Рис. 1. График изменения осреднённых за час погрешности скорости с 8-го часа 21 июля по 5-й час 25 июля 2005 года



Рис. 2. График осреднённых за 5 минут погрешностей скорости 28 октября 2005 года

В традиционной морской радионавигации восход-заход Солнца связывается с явлениями перестройки ионосферы, отрицательно влияющими на процессы распространения радиоволн. В зависимости от длины радиоволны, используемой в данной радионавигационной системе, и от солнечной активности ухудшение условий распространения радиосигналов может проявиться за час до и через час после момента восхода-захода Солнца. Поэтому возникает предположение о взаимосвязи максимумов погрешностей определения абсолютной скорости с моментами восхода-захода Солнца.

Каждый спутник системы Навстар GPS непрерывно транслирует свои эфемериды, представляющие собой 7 Кеплеровских параметров орбиты. Приёмник по эфемеридам вычисляет с высокой точностью вектор скорости изменения расстояния вдоль направления на спутник и измеряет вектор скорости изменения псевдорасстояния по этому направлению. Разность этих векторов даёт вектор абсолютной скорости судна в направлении с судна на спутник. Проекция этого вектора на плоскость, касательную к поверхности данного референц-эллипсоида в точке, соответствующей положению судна, является вектором сближения судна с данным спутником. Таким образом, из точки, в которой находится судно (антенна приёмника), можно построить некоторое число векторов, равное числу спутников, по сигналам которых выполняется определение абсолютной скорости судна. Сумма этих векторов будет являться вектором абсолютной скорости судна [1]. Если судно неподвижно относительно Земли, то модуль суммарного вектора равен нулю.

Из-за ряда причин вектор скорости изменения псевдорасстояния неизбежно содержит погрешности измерения. Если азимуты спутников распределены равномерно по горизонту, то систематическая погрешность измерения псевдодальностей до спутников компенсируется. Случайные погрешности изменения псевдодальностей главным образом возникают вследствие флуктуаций плотностей электронов в трансionoсферных каналах распространения сигналов спутников. Если ионосфера находится в невозмущённом состоянии, то ненулевые значения абсолютной скорости неподвижного судна выглядят как шумовая последовательность с низкой частотой повторения. Когда же в ионосфере возникают возмущения, вызванные,

например, внутренними гравитационными волнами (ВГВ) или восходом-заходом Солнца, то частота повторения погрешностей возрастает, что вызывает значительное увеличение средней погрешности абсолютной скорости.

Во время перестройки ионосферы, связанной с её переходом от дневного состояния к ночному и обратно, турбулентность слоёв будет вызывать флуктуацию градиента электронной концентрации и повышение частоты появления погрешностей. При этом плотность функции распределения направлений векторов погрешностей скорости судна будет близка к равномерному закону.

Так как доминирующую роль в формировании погрешностей абсолютной скорости играют флуктуации электронной концентрации в ионосфере, то следует ожидать не только суточных вариаций средних значений погрешностей, но и сезонных, и географических. Неизбежны суточные асимметрии моментов наступления максимумов средних погрешностей.

Наибольшее влияние на характер распространения сигналов спутников оказывает слой F2 ионосферы. Наблюдения показывают, что максимум критических частот слоя F2 может наступать в любое время суток. В высоких широтах вариации слоя F2 определяются всемирным, а не солнечным временем. Для средних широт, например, критическая широта достигала максимума приблизительно в 9 часов, а не в 12 часов местного времени, как это следовало ожидать по положению Солнца [2]. Однако и это утверждение не однозначно, так как на процессы в ионосфере влияет сезон года и уровень солнечной активности.

На *рис. 3* и *рис. 4* представлены графики изменения осреднённых за 5 минут погрешностей абсолютной скорости, измеренных неподвижным приёмником СРНС Навстар GPS GP-37 летом и осенью 2005 года в УАФО. Вертикальные метки времени, обозначенные буквами В и З, указывают на моменты восхода и захода Солнца соответственно.

Сравнение графиков *рис. 3* и *рис. 4* позволяет сделать заключение о влиянии сезонности на появление максимумов погрешностей определения скорости. Видно, что максимум, наступающий после захода, осенью проявляется позже летнего. Летом максимум пог-



Рис. 3. График осреднённых за 5 минут погрешностей скорости 26 июля 2005 года



Рис. 4. График осреднённых за 5 минут погрешностей скорости 20 октября 2005 года

решности, соответствующий восходу Солнца, наступает раньше, а осенью – позже восхода. Летние максимумы погрешностей, наступающих после захода Солнца, имеют амплитуду большую, нежели осенние

максимумы. Осенью минимальные значения осреднённых за 5 минут погрешностей меньше летних.

Интересно сравнить между собой осреднённые за целые сутки погрешности скорости. Для 26 июля эта величина равна 0,0159 уз, а 20 октября среднее суточное значение составило 0,0135 уз. Этот факт можно объяснить гораздо большей продолжительностью светлого времени суток летом.

Разумеется, для исчерпывающих выводов, предшествующих составлению модели влияния солнечно-земных связей на точность определения погрешностей абсолютной скорости судна, потребуются более длительные непрерывные наблюдения с неподвижным приёмником.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Данные предварительной обработки наблюдений, выполненных в УАФО в 2005 году, свидетельствуют о присутствии явных закономерностей в характере изменения осреднённых погрешностей абсолютной скорости.

2. В обработку дальнейших наблюдений необходимо включить определение функции распределения направлений векторов погрешностей абсолютной скорости и определение модели смещения максимумов погрешностей. Кроме того, будет полезным выполнение спектрального анализа для выявления доминирующих факторов, влияющих на возникновение погрешностей абсолютной скорости.

3. Внутренние гравитационные волны и перемещения крупномасштабных возмущений полного электронного содержания несомненно будут вызывать появление погрешностей абсолютной скорости, направления векторов которых будут перпендикулярны к фазовому фронту этих явлений в ионосфере. Следовательно, направления векторов погрешностей можно использовать в качестве характеристики процессов, происходящих в ионосфере.

И.В. Кузьменко, В.В. Гречнев, А.М. Уралов**

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБЫТИЯ 13 ИЮЛЯ 2004 г., СВЯЗАННОГО С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ РАДИОВСПЛЕСКОМ

ВВЕДЕНИЕ

4. Здесь нельзя ограничиваться одним предположением о влиянии на появление погрешностей только процессов, происходящих в трансионосферном канале распространения сигналов от спутников. Следует также исследовать предположение о зависимости средней величины погрешности абсолютной скорости от геометрии расположения спутников. Когда разности азимутов спутников начинают уменьшаться, то суммарный вектор абсолютной скорости содержит максимальную погрешность модуля.

5. На долю ненулевых значений абсолютной скорости неподвижного приёмника приходится 14,17% от всех зарегистрированных значений в летних наблюдениях. Погрешность скорости, равная 0,1 узла, соответствует 0,0514 м/с. Погрешности такого уровня становятся уже весьма значимыми при швартовке крупнотоннажных судов, при мониторинге дрейфа судна на якорю и в ряде других задач безопасности мореплавания. Поэтому исследования погрешностей абсолютной скорости, измеряемой судовыми приёмниками СРНС Навстар GPS, крайне необходимо продолжать.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Misra P., P. Enge P.* Global Positioning System. Signals, Measurements and Performance. Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, 2001. – 390 p.
2. *Девис К.* Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973. – 502 с.

Явление уменьшения интегрального потока микроволнового излучения, называемое «отрицательным всплеском», известно достаточно давно. Такие события исследовались в работах Covington A. и Sawyer C. [3–5], однако в то время не было возможности использовать данные наблюдений в различных областях спектра, предоставляемые в настоящее время спутниковыми обсерваториями.

Общепринятое объяснение отрицательных всплесков – поглощение радиоизлучения в затеняющем веществе, имеющем достаточную оптическую толщину. Поэтому отрицательные радиовсплески предположительно связаны с эруптивными явлениями на солнечном диске и могут нести информацию о параметрах выброса.

Отрицательные всплески по своей максимальной интенсивности малы (среднее значение 4,5 СЕП [5]), а потому, например, всплески типа «послевсплесковое уменьшение» регистрируются после непродолжительных радиовсплесков с интенсивностью до 500 СЕП (1 СЕП = 10^{-22} Вт/(м²×Гц)). Однако эти события достаточно редки (за период 2000–2005 гг. в УАФО наблюдалось только 7 отрицательных радиовсплесков), а потому изучены недостаточно.

Данная работа посвящена исследованию одного из таких событий, произошедшего на Солнце 13 июля 2004 г.

НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ

Событие произошло в активной области NOAA 0646 с координатами N13 W46, класса β по магнитной классификации. На сним-

* Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033 Иркутск, а/я 4026