

УДК 621.01:623

## ИСКЛЮЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШКАЛ ВРЕМЕНИ НА ПОГРЕШНОСТЬ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

к.т.н. с.н.с. Гузевич С.Н.

### Введение

Основной вклад в погрешность навигационных определений вносимых космическим сегментом, составляет суммарная *погрешность радиальной составляющей эфемерид и частотно временных поправок*, связанных с расхождением шкал времени его составляющих. Погрешность расхождения шкал времени обусловлена нестабильностью стандарта частоты космического аппарата (КА) и погрешностью прогнозирования бортовых шкал времени. В настоящее время синхронизация бортовых шкал времени всей космической аппаратуры выполняется от основного синхронизатора до потребителя и является основным условием обеспечения высокоточного координирования его местоположения. С учетом прогноза на 2015/2020 гг. наиболее критичными является требование к точности определения местоположения из-за погрешностей привязки времени потребителя к эталонному времени [1].

А нельзя ли отказаться от этого действия при решении задачи навигационных измерений?! В настоящее время это кажется АБСУРДОМ!!! Но все же попробуем!

Целью настоящей работы является использование метода учета Солнечного времени для синхронизации наземных измерительных средств и космических аппаратов для исключения влияния расхождения их шкал времени, изложенных в работе [1], на погрешность навигационных измерений.

Бюджет погрешностей методов беззапросных и встречных измерений псевдодальностей построен на оценке шкал времени КА и измерительных средств, а также влияния параметров ионосферы и тропосферы и параметров движения Земли, которые не обладают стабильностью. Решение будем искать в методах измерения Солнечного времени, которые являются видом фазовых измерений положения Земли относительно Солнца, достоверность которых проверена веками.

### 1 Шкала Солнечного времени в парной проективной системе координат

Время на Земле является мерой ее циклического перемещения относительно Солнца, которое совершается двумя периодами: сутки, год. Суточное время для каждой точки Земли отсчитывается от оси  $Y$ , связывающей центры Солнца и Земли в плоскости эклиптики и определяется по изменению фазы в плоскости параллельной плоскости экватора от положения Солнца в Зените. Основные параметры вращения Земли показаны на рисунке 1. Движение Земли

относительно Солнца отражает изменение фаз суточного времени, но характер его движения относительно Земли является волновым. Волновое движение Земли приводит к нутации ее оси с периодом  $18''$ , что свидетельствует о невозможности прямого точного измерения любых процессов на Земле разделенных пространством. Поэтому использование эталонов времени любой стабильности не является гарантией обеспечения его точного сравнения с временем на КА. Нутация Земли ограничивает точность контроля шкалы времени КА, исключая возможность избавиться от модуляции частотой вибрации, как на вибростенде. Рассмотрим взаимодействие Земли и Солнца в цикле суточного времени, которое отражает реальные природные зависимости измерения фаз, связанных с Землей. При этом измерение фаз Солнечного времени во времени и пространстве выполняется без использования источников эталонных и опорных частот, без использования шкал времени наземного космического комплекса (НКК).

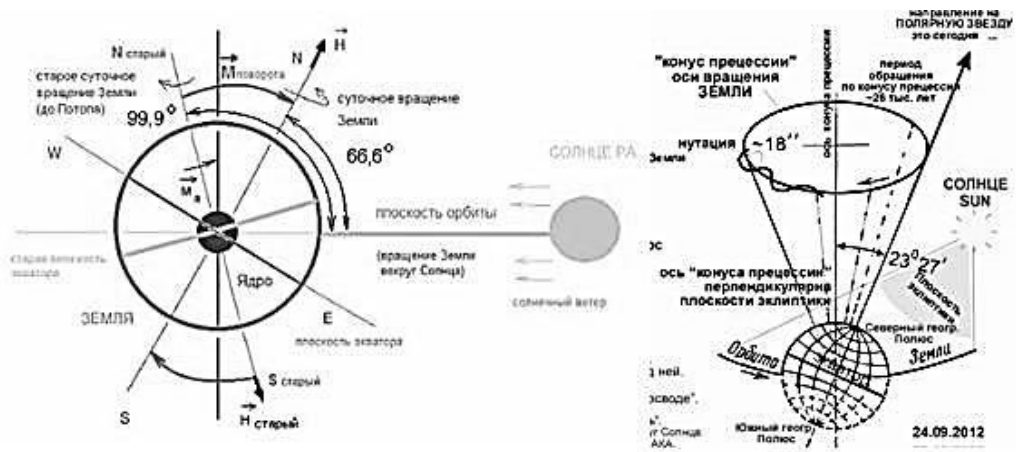


Рисунок 1 – Основные параметры вращения Земли

На поверхности Земли измерение фаз Солнечного времени фиксируют на плоскости по проекциям гномона, установленного в точке по направлению гравитационного вектора. Общепринято время  $t$  на Земле отсчитывать от положения Солнца, когда оно находится на теневой стороне Земли, которое зафиксировать невозможно. Поэтому нулевой отсчет Солнечного времени (его нулевая фаза) связан с совпадением положения Солнца с направлением гравитационного вектора в точке измерений и минимальной длиной тени гномона. В момент нулевой фазы Солнце проходит через гравитационный вектор на долготе точки, а минимальная длина тени характеризует широту расположения точки, которая направлена на Север, характеризуя в линейной развертке движения Солнца минимальное отстояние его от точки измерений или амплитуду отклонения. Измерения фазы можно реализовать по изменениям *направления* тени (измерениям угла) и изменениям ее *длины* (*измерениям амплитуды*), а также по измерениям скорости их изменений.

Движение объектов друг относительно друга относительно, поэтому будем рассматривать движение Солнца относительно Земли, как движение космического аппарата (КА), показанное на рисунке 2. Учитывая, что скорость КА направлена ортогонально гравитационному вектору Земли в текущих точках, его движение выполняется по поверхности аналогичной сферической поверхности Земли  $A2'B$ . Это обеспечивает параллельное движение спутника на дуге **123** относительно сферической поверхности Земли  $A2'B$ , которое может, заменено его хордой  $A0B$ .

Используя подобие «сферических» и линейных треугольников ( $\Delta 0A2' \cong \Delta 012$ ), повернем локальные оси координат  $Ax_Ay_A$  и  $Bx_By_B$  навстречу друг другу на равные углы до совмещения осей  $x_A, x_B$  с осью  $x$  (прямой  $AB$ ), тогда оси  $y_A \parallel y_B \parallel y$ . Получаем преобразование пары сферических систем координат в парную проективную плоскостную систему координат  $0Y_AYY_B\Gamma$ . Аналитические зависимости, связывающие эти фигуры, отражают движение спутника по траектории параллельной поверхности Земли.

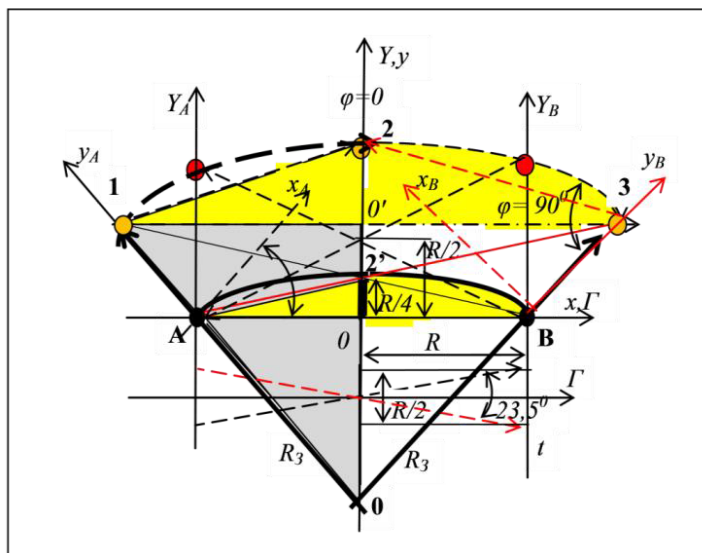


Рисунок 2 – Определение фазы Солнечного времени по ее измерениям в двух точках пространства

Измерение фазы по измерениям угла между двумя направлениями в пространстве не является точной метрической задачей. Задача становится геометрически и метрически точной, если ее решение выполнять по оценке изменений длины проекции тени гномона или ее скорости. Оценку скорости можно выполнить:

- по изменению времени за цикл вращения Земли,
- в пространстве – между двумя гномонами, расположенными на известном расстоянии. В этом случае скорость изменения длины тени в ее минимуме будет максимальной, а в ее максимуме – минимальной. Возможность оценки фазы по

скорости изменения длины тени от гномона за цикл вращения Земли давно известен и называется «индийский круг». Считалось, что этот способ приближенный, но его современная реализация, описанная в журнале «Архитектура Древнего Египта», показала его высокую точность оценки параметров суточного цикла Земли в течение года.

Для реализации оценки скорости суточного вращения на сферической поверхности Земли разместим на равных отстояниях от точки измерений, например в широтном направлении (по движению Солнца), 2 гномона. Нулевая фаза положения Солнца реализуется при минимальной длине тени. Максимальная длина тени для Земли может быть связана только с ее диаметром  $2R_3$ . Так, если гномон установлен на плоскостном экваторе, то максимальная длина тени должна быть равна радиусу  $R_3$ , а высота гномона должна составлять  $R_3/2$ , чтобы обеспечить симметричную проекцию. Но Земля – сфера, поэтому это расстояние точно измерить также невозможно, но ее можно заменить хордой. Учитывая парность положения Солнца относительно гномона, в которых его проекции противоположны, минимальная длина гномона должна составлять  $R_3/2$ . Именно это условие реализовано тангенсом угла  $\varphi$  наклона экватора Земли к плоскости эклиптики и при этом геометрически абсолютно точно.

Угол наклона плоскости экватора к плоскости эклиптики постоянен и составляет  $\operatorname{tg}\varphi = (R_3/2)/2R_3 = 0,25$ , то есть  $\varphi = 23,5^\circ$  и является геометрической постоянной ее движения вокруг Солнца.

Точное совпадение теоретической и реальных оценок углов наклона плоскостей экватора и эклиптики свидетельствует об использовании в природе принципа парности измерений, то есть использования в ней парной проективной системы координат, где измерение углов заменено измерением разности фаз сигналов, которое может быть выражено в проекциях на оси координат в точке измерений. *Постоянство отношения длины базы измерений к минимальной величине длины тени гномона является физико-геометрической постоянной Земли, которая опирается на правила измерений в парной проективной системе геометрии.*

В суточном цикле Солнечное время на экваторе отсчитывается от точки в центре сферической поверхности, которую пересекает плоскость эклиптики, связанная с экваториальной плоскостью только осью, проходящей через центр Земли. В этой точке скорость изменения длины тени будет максимальной, а в двух точках, расположенных симметрично *в противоположных направлениях от точки измерений на одинаковом расстоянии, скорости равны, но имеют разные знаки.*

Отметим достоинства метода измерений Солнечного времени, которые можно использовать и при измерении фаз КА. Прежде всего, это относительность измерений, которые можно реализовать, используя два измерителя, разнесенные в пространстве на известные расстояния. Во-вторых – это измерения на общем основании при использовании общей базы для двух измерителей. Общая база является основой парной проективной системы координат, использование которой позволяет определять точное направление на КА, которое не зависит от

пространственных вибраций Земли, вариаций ее параметров во времени, так как они оцениваются в разности и при этом привязки к эталонному времени не требуется.

На данный способ получен патент РФ №2655612, обеспечивающий достоверные (метрологически точные) измерения отстояний и размеров объекта [5].

### **Выводы**

1 Измерение циклов измеряемых параметров в навигационных измерениях необходимо выполнять парным измерителем при использовании парной проективной системы координат, так как Земля, совершая частотные колебания с периодом 18", модулирует все излучения, выполняемые на ее поверхности.

2 Солнечное время на Земле является основным процессом, описывающим циклическое положение Земли относительно Солнца. *Время является циклическим параметром, измерение которого связано с измерением приращений углов путем фиксирования приращений их фаз, выраженных в проекциях дуг на оси парной проективной системы координат.*

3 Каждая точка на Земле имеет свое нулевое Солнечное время, отсчитываемое от положения Солнца над гравитационным вектором в точке измерений.

4 Использование парной проективной системы координат и методики учета солнечного времени при измерении фаз параметров электромагнитных полей позволяет исключить влияние ухода шкал времени КА на навигационные измерения.

### **Литература**

1 Скобелин А.А. Пути снижения влияния погрешностей измерительных средств наземного сегмента при синхронизации шкал времени системы ГЛОНАСС // Радионавигация и время. – 2016. – №2 (10). – С. 28-43.

2 Гузевич С.Н., Ивлев Л.С. Структура материи. Монография. – ЦНИТ «Астерион», 2017. – 183 с.

3 Гузевич С.Н. Об одной систематической погрешности локационных измерений // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – №10. – С. 42-50.

4 Гузевич С.Н. Описание модельных построений объектов в проективной системе координат // Прикладная физика и математика. – 2016. – №3. – С. 43-52.

5 Гузевич С.Н. Стереоскопический способ измерений отстояний и формы объектов. Патент №2655612 G01B17/06 от.14.04.18 г.