

УДК 528.44

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ВРЕМЕНИ В СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

А.В. Родионова, студентка гр. ГКБ-111, IV курс

Научный руководитель: Г.А. Корецкая, старший преподаватель
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачёва
г. Кемерово

Многие системы, которые в процессе своей работы требуют качественной синхронизации, используют Глобальные навигационные спутниковые системы в качестве источника точного времени. В основу измерения времени положены циклические, повторяющиеся процессы. В астрономии такими процессами являются обращение Земли вокруг Солнца (год), Луны вокруг Земли (месяц) и Земли вокруг своей оси (сутки). Земля совершает один оборот вокруг Солнца за 365,2422 суток, а Луна вокруг Земли – за 29,53 суток. Такими единицами можно измерять только очень большие отрезки времени. Поэтому в основу измерения времени положен период обращения Земли вокруг своей оси – сутки и их дробные части: час, минута, секунда. Для отсчёта времени в астрономии и навигации используются несколько понятий.

Местное истинное солнечное время – полдень определяется по прохождению Солнца через местный меридиан (наивысшая точка в суточном движении). Используется, в основном, в задачах навигации и астрономии. Это то время, которое показывают солнечные часы.

Местное среднее солнечное время – в течение года Солнце движется слегка неравномерно (разница ± 15 мин), поэтому вводят условное равномерно текущее время, совпадающее с солнечным в среднем. Это время своё собственное для каждой географической долготы.

Всемирное время (Гринвичское, GMT) – это среднее солнечное время на начальном меридиане. Уточнённое всемирное время отсчитывается при помощи атомных часов и называется UTC (Всемирное координированное время). Это время принято одинаковым для всего земного шара[1].

Космическая геодезия измеряет время прохождения сигналов от спутников. При этом и наблюдатель, и наблюдаемые объекты находятся в постоянном движении. Поэтому точное определение времени является основополагающим. Рассматриваются два аспекта времени: эпоха и интервал. *Эпоха* определяет момент события, а *интервал* – это время, протекшее между двумя эпохами, измеренное в единицах некоторой соответствующей шкалы времени. При решении задач космической геодезии время выполняет две функции:

- показывает угол поворота земной системы координат относительно небесной, что необходимо при переходах из одной системы в другую;
- выступает в качестве независимой переменной в уравнениях движения естественных и искусственных небесных тел.

В соответствии с решаемыми задачами в спутниковой геодезии, применяются два типа систем времени: *астрономические* и *атомные* системы времени. Астрономические системы времени связаны с суточным вращением Земли. На рис. 1. показано годовое движение Земли вокруг Солнца в разное время года.

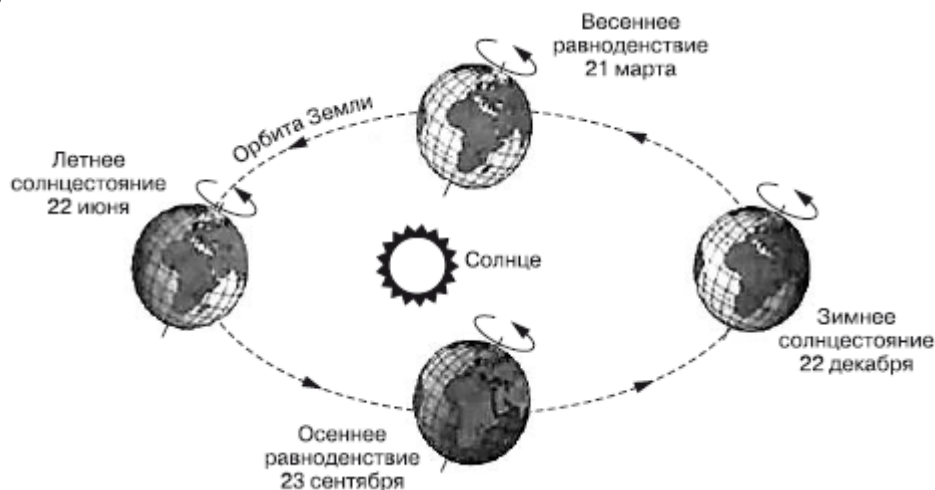


Рис.1. Схема годового движения Земли вокруг Солнца

Вращение Земли не является постоянным. Его скорость показывает и периодические изменения, и долгосрочные дрейфы порядка секунды за год. В противоположность им, системы атомного времени имеют строго равномерную шкалу. Их постоянство во времени характеризуется точностью порядка микросекунды за год, то есть более чем на шесть порядков выше, чем в системах астрономического времени. Однако когда требуется наивысшая точность результатов, системы атомного времени становятся недостаточными из-за того, что в них не учитываются эффекты общей и специальной теории относительности, имеющие, как правило, периодический характер. В таких случаях применяется *динамическое время*.

Системы астрономического времени основаны на суточном вращении Земли. Эталоном для построения шкал астрономического времени служат солнечные или звездные сутки, в зависимости от точки небесной сферы, по которой производится измерение времени.

Всемирное время (UT1), обычно обозначаемое как «гринвичское среднее время», представляет собой среднее солнечное время на нулевом меридиане (с долготой 0°), который проходит через город Гринвич в Лондоне. На основе всемирного времени определяется *поясное время*, используемое для счета гражданского времени. Для удобства отсчета времени решением Международного конгресса поверхность Земли разделили меридианами на 24 часовых пояса, каждый из них включает в себя 15° долготы (Земля за 1 час поворачивается на 15°) (рис. 2).

Время каждого часового пояса отличается от последующего на 1 час. Нумерация поясов от 0 до 23 ведется с запада на восток от Гринвичского меридиана. Во всех пунктах, находящихся в пределах одного пояса, в данный момент считается одно и то же время.

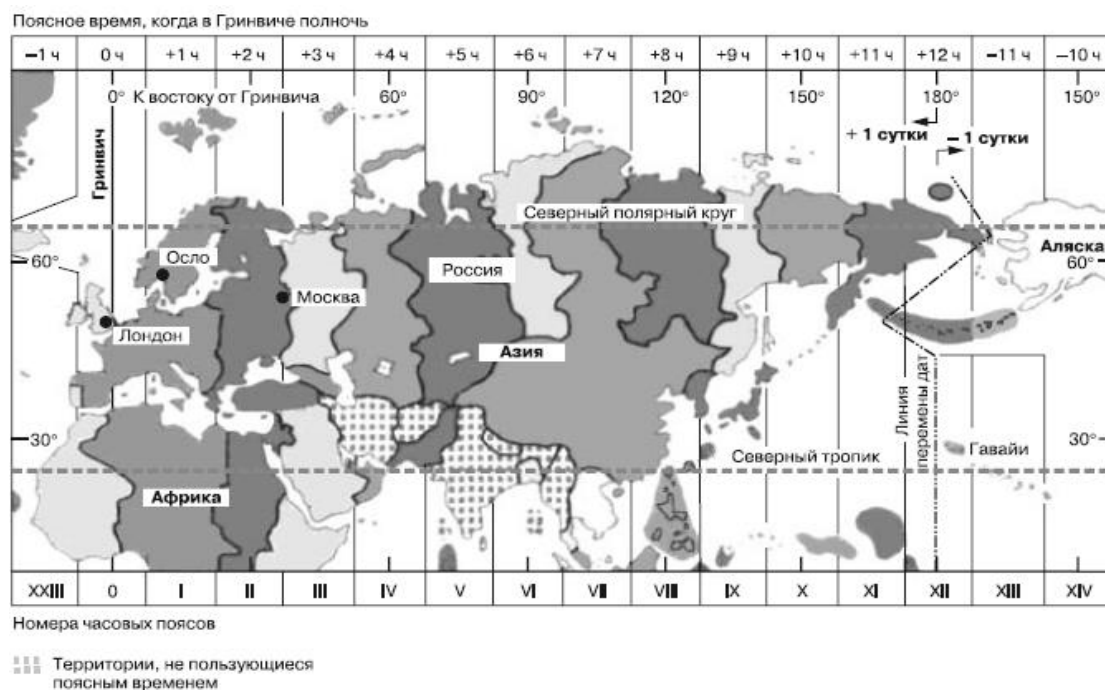


Рис. 2. Часовые пояса

Номер часового пояса можно рассчитать по географической долготе пункта λ . Так, например, г. Москва находится в 2-м часовом поясе (рис. 2), Кемерово – в 5-ом часовом поясе:

для г. Москва $\lambda = 37^\circ 36,6' VD$; $\Delta n = 37^\circ 36,6' : 15^\circ = 2,5$ (2);

для г. Кемерово $\lambda = 86^\circ 06' VD$; $\Delta n = 86^\circ 06' : 15^\circ = 5,73$ (5).

Во многих странах мира осуществляется переход на *декретное время* – поясное время (ZT), переведенное вперед или назад на 1 час с целью наиболее рационального использования светлой части суток (летнее или зимнее время). В России поясное время отличается от декретного на 1 час. В 1930 году стрелка часов на всей территории СССР была переведена на 1 час вперед. Например, Москва, формально находясь во втором часовом поясе, стала применять время, отличающееся от Гринвича на +3 часа.

Летнее время – сезонный перевод стрелок, весной на 1 час вперед, осенью на 1 час назад. Местное время – время часовой зоны, в которой расположена соответствующая территория. Понятие введено в России федеральным законом в 2011 году вместо понятий *поясное время* и *декретное время* [2].

Международное атомное время TAI было введено в июле 1955 г. в качестве основного временного стандарта. Атомная секунда определена как 9 192 631 770 колебаний невозмущенных переходов между двумя энергетическими уровнями цезия 133.

Всемирное координированное время (UTC) – стандарт, по которому общество регулирует часы и время. Отличается на целое количество секунд от атомного времени и на дробное количество секунд от всемирного времени UT1.

Связь между атомным временем TAI и всемирным временем $UT1$ производится либо через разность $UT1 - AIT$, либо через *всемирное координированное время* UTC , для которого также сообщается разность шкал $UT1 - UTC$. Время UTC по своей природе является атомным. Оно используется для передач сигналов точного времени. Но величина разности $UT1 - UTC$ по определению времени UTC не должна быть более 0,9 с. В случае приближения ее к этому значению шкалу UTC корректируют на 1 секунду. Поэтому шкала времени UTC является ступенчато-равномерной. Коррекция шкалы UTC проводится Международным бюро мер и весов (BIPM) по рекомендации Международной службы вращения Земли. Производится это, как правило, с периодичностью один раз в год в конце одного из кварталов и осуществляется одновременно всеми пользователями, использующими шкалу UTC .

Динамическое время является независимой переменной в уравнениях движения тел в гравитационном поле в соответствии с общей теорией относительности [3].

При работе со спутниковым геодезическим приёмником выбор параметров наблюдений является ответственным моментом. Для включения программы приёмника в автоматическом или ручном режиме необходимо ввести информацию по временной зоне, в которой происходят наблюдения [4].



Спутниковые навигационные системы GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) функционируют в собственном времени, известном как «*системное время GPS*». Все процессы измерений фиксируются в этой шкале времени. Необходимо, чтобы шкалы времени используемых спутников были согласованы между собой. Это достигается независимой привязкой каждой из шкал спутников к системному времени.

Системная шкала времени есть шкала атомного времени. Она задаётся сектором управления и контроля, где поддерживается с точностью более высокой, чем бортовые шкалы спутников. Идеальная привязка по времени обеспечивается установкой атомных часов на спутники. Основным отличием GPS-времени является то, что оно абсолютно не зависит от вращения Земли. GPS-день составляет 86400 секунд. Наибольшая единица, используемая в формировании времени GPS – одна неделя, определенная как 604 800 секунд. Время GPS может отличаться от UTC, что связано с дрейфом непрерывной шкалы времени GPS и периодически корректируемым на целое число скачков секунд временем UTC. Управляющий сегмент контролирует временную шкалу GPS и она не должна отличаться от UTC более, чем на 1 микросекунду.

Отсчет системного времени ведется с 6 января 1980 г. Оно является непрерывным временем системы, базирующимся на универсальном координатном времени UTC (Universal Time Coordinated) – всемирное координатное

время международной шкалы времени. Время UTC отличается от системного времени GPST своей прерывностью, вызванной необходимостью корректировки хода часов из-за замедления вращения Земли. К настоящему времени расхождение между временем GPST и UTC составляет 42". Это расхождение будет расти за счет введения секундных поправок. При определении временной зоны в спутниковых GPS-приемниках необходимо учитывать следующие временные параметры:

- 1) системное время GPST;
- 2) универсальное (всемирное) координатное время UTC;
- 3) Гринвичское время GMT (применяется для низкоточных измерений);
- 4) поясное время ZT (для каждого государства свой часовой пояс Δn):

$$ZT = UTC + \Delta n.$$

Выведем взаимосвязь между различными системами отсчета времени в геодезическом GPS-приемнике:

местное время, г. Кемерово – $15^{\text{h}}30^{\text{m}}30^{\text{s}}$;

московское время (отличается на 3 часа) – $12^{\text{h}}30^{\text{m}}30^{\text{s}}$;

декретное время (отличается на 1 час) – $11^{\text{h}}30^{\text{m}}30^{\text{s}}$;

Расхождение по времени GPST – UTC (с учётом замедления вращения Земли) – $00^{\text{h}}00^{\text{m}}42^{\text{s}}$; системное время GPST равно

$$11^{\text{h}}30^{\text{m}}30^{\text{s}} + 00^{\text{h}}00^{\text{m}}42^{\text{s}} = 11^{\text{h}}31^{\text{m}}12^{\text{s}}.$$

При измерении псевдодальностей (расстояний от спутника до геодезического приёмника, установленного на пункте земной поверхности) время отсчитывается в наносекундах (10^{-9} с). Это возможно с помощью атомных часов, стабильность которых лежит в пределах 10^{-14} – 10^{-15} с.

Решение геодезических задач с использованием спутниковых технологий требует знание точного времени, т. к. идеальная синхронизация часов спутников и приемников – ключ к измерению расстояний от объектов до спутников с сантиметровой и миллиметровой точностью.

Список литературы:

1. Завельский, Ф. С. Время и его измерение / Ф. С. Завельский. – М: Наука, 1987 – 256 с.
2. Федеральный закон РФ от 03.06.2011 № 107-ФЗ «Об исчислении времени».
3. Одуан, К., Гино Б. Измерение времени. Основы GPS / К. Одуан и др. – М.: Техносфера, 2002. – 383.
4. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС И GPS. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 73 с.