

## **Система дистанционного зондирования атмосферы при помощи сигналов ГЛОНАСС/GPS**

В.В. Чукин, А.В. Вахнин, Т.Т. Нгуен

*ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,  
Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98  
chukin@mail.ru, avahnin@yandex.ru, m.tnnguyen@yahoo.com*

*В данной работе рассматриваются вопросы разработки системы дистанционного зондирования водяного пара в атмосфере при помощи навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.*

*This work deals with the development of remote sensing of water vapor in the atmosphere with the help of navigation systems GLONASS and GPS.*

### **Введение**

Задача измерения текущего состава и основных метеорологических параметров атмосферы является актуальной для важных сфер жизнедеятельности человека (таких как авиация, судоходство, промышленность, сельское хозяйство, городские службы), так и для задач фундаментальной науки. Поиск новых доступных и недорогих средств изучения состояния атмосферы приводит к разработке методов основанных на достижениях в других технических и научных областях. Одним из подобных методов является метод измерения содержания водяного пара в атмосфере при помощи сигналов глобальных навигационных систем, таких как ГЛОНАСС и GPS. В перспективе возможно использование развертываемой в данный момент европейской системы Galileo.

При дистанционном определении содержания водяного пара в атмосфере по данным наземной регистрации радиосигналов космических аппаратов глобальной навигационной спутниковой системы проводится регистрация задержек радиосигналов в тропосфере, которые появляются в результате уменьшения фазовой скорости радиоволн за счет эффекта поляризации молекул азота, кислорода, углекислого газа, водяного пара [8]. Для получения информации о вертикальном распределении водяного пара необходимо решить обратную задачу дистанционного зондирования на основе данных измерений задержек радиосигналов в тропосфере.

Задержка радиосигнала в тропосфере определяется как разница между измеренным значением дальности до космического аппарата ГЛОНАСС/GPS и рассчитанным значением дальности, определяемым по известному положению космического аппарата и приемного устройства. Таким образом, для осуществления измерения тропосферной задержки необходимо измерения как минимум трех параметров: дальность до космического аппарата, положение космического аппарата, положение приемного устройства.

Как показывают исследования и изучение результатов численного моделирования, основным источником погрешностей при измерении водяного пара в атмосфере является неточность измерения координат навигационного спутника. Далее будут рассмотрены технические и программные средства, предназначенные для использования в создаваемой нами системе дистанционного зондирования атмосферы при помощи сигналов ГЛОНАСС/GPS.

### **Технические средства проведения измерений**

Дальность до космических аппаратов измеряется при помощи навигационных приемников. В ходе работ, нами использовались приемники двух видов: многофункциональный профессиональный геодезический приемник GB-1000 фирмы Topcon, изначально разработанный для целей геодезии, и приемник GlobalSat BT-338 на основе чипсета SIRF-III, который более компактен, недорог, обладает ограниченной функциональностью и относится к классу бытовых приемников.

Приемник GB-1000 представляет собой двухчастотный ГЛОНАСС/GPS приемник, являющийся одним из наиболее совершенных приемников на рынке геодезической аппаратуры. GB-1000 может принимать и обрабатывать спутниковые навигационные сигналы в диапазонах частот L1 и L2. Сочетание двухчастотности и других функций в этой уникальной системе для кинематической съемки в реальном времени обеспечивает одинаковую точность на коротких и длинных базовых линиях. GB-1000 является многофункциональным, многоцелевым приемником, предназначенным для точных геодезических измерений.

Отличительной чертой этого приемника является возможность использования NTRIP-технологии, основанной на обмене данными в формате RTCM через компьютерные сети с помощью Интернет-протокола. NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) является протоколом уровня приложения, который поддерживает обмен данными глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС/GPS через Интернет. NTRIP содержит три программных компонента: NTRIP-клиенты, NTRIP-серверы и NTRIP-маршрутизатор. NTRIP-маршрутизатор на самом деле является программой HTTP-сервером, в то время как NTRIP-клиент и NTRIP-сервер являются HTTP-клиентами.

Подключаемый к GB-1000 компьютер выполняет функции NTRIP-сервера, который передает данные приемника по протоколу HTTP на удаленный NTRIP-маршрутизатор. Далее данные от NTRIP-серверов через NTRIP-маршрутизатор попадают на компьютеры потребителей навигационной информации, являющиеся NTRIP-клиентами.

Второй приемник на основе чипсета SIRF-III способен одновременно принимать сигнал от 20 спутников. Данный приемник особенно удобен тем, что имеется возможность его подключения к устройству, осуществляющему вторичную обработку, при помощи Bluetooth-соединения. Наличие Bluetooth-соединения позволяет подключать ГНСС приемник к разнообразным устройствам с архитектурой отличной от ПК, имеющих поддержку сетевых Java-технологий, широко используемых в данном проекте. Такими устройствами являются КПК, мобильные телефоны, GPRS-модемы. Объединение ГЛОНАСС/GPS приемников с помощью компьютерной сети позволяет осуществлять сбор данных одновременно на значительной территории, что позволяет определять пространственное распределение метеорологических параметров, в частности, влажности воздуха.

Общей чертой обоих приемников является одновременное взаимодействие с системой ГЛОНАСС/GPS. Эти два устройства могут дополнять друг друга и использоваться в различных целях: первое устройство удобно применять для осуществления высокоточных исследований, а второе может являться основой для создания недорогой сети приемной аппаратуры. Так же подобные приемники незаменимы для работы в условиях невозможности подключения персональному компьютеру.

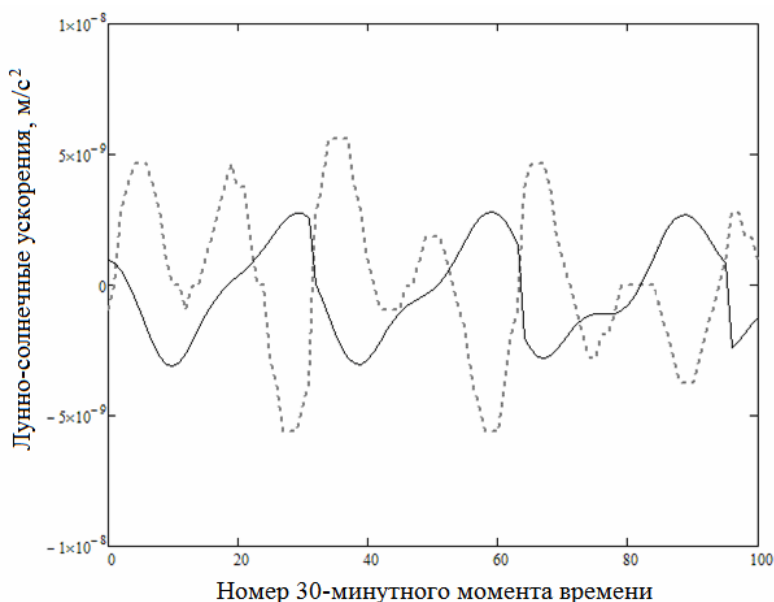
### Программные средства обработки результатов измерений

Разработка программных средств для реализации метода дистанционного зондирования атмосферы сводится к написанию программ, позволяющих осуществлять прием навигационных сообщений и измерений от ГЛОНАСС/GPS приемника, осуществлять обработку навигационных сообщений, передавать данные по сети и сохранять их на удаленном сервере, производить проверку работоспособности имеющихся алгоритмов.

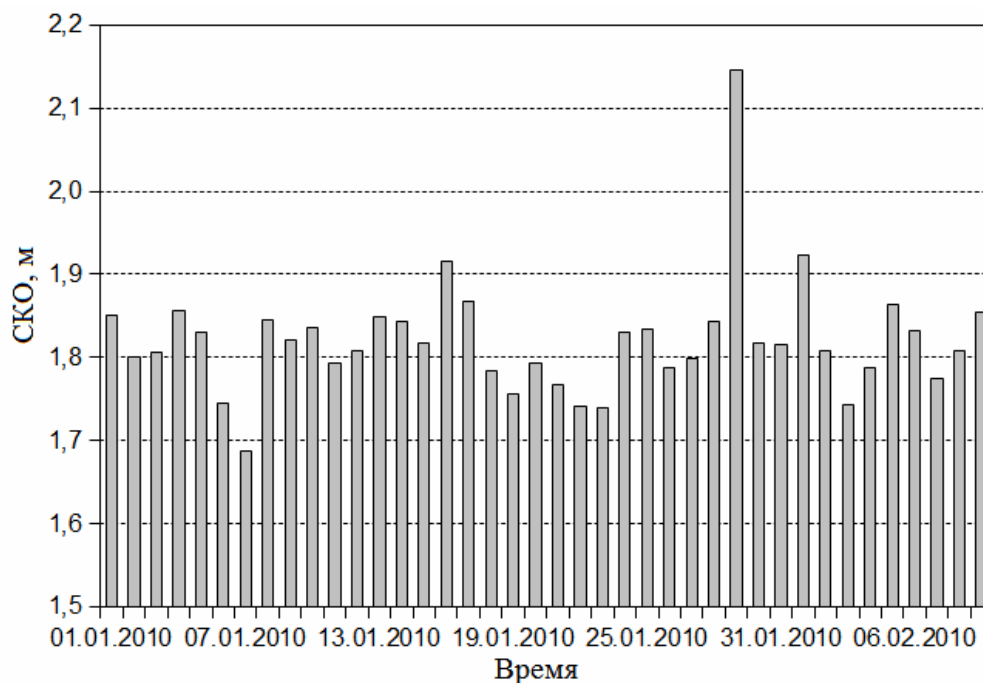
Спутники глобальной навигационной системы ГЛОНАСС передают навигационные сообщения, содержащие координаты движения спутника и информацию о своем состоянии. Данные сообщения обновляются каждые 30 минут [5]. Задачей данной работы является расчет координат положения навигационного спутника с требуемой точностью в любые промежуточные моменты времени, для которых нет навигационной информации.

Пересчет эфемерид потребителем с момента их задания в навигационном кадре на моменты измерения навигационных параметров проводится методом численного интегрирования дифференциальных уравнений движения спутника, в правых частях которых учитываются ускорения, определяемые константой гравитационного поля Земли, второй зональной гармоникой, характеризующей полярное сжатие Земли, а также ускорения от лунно-солнечных гравитационных возмущений.

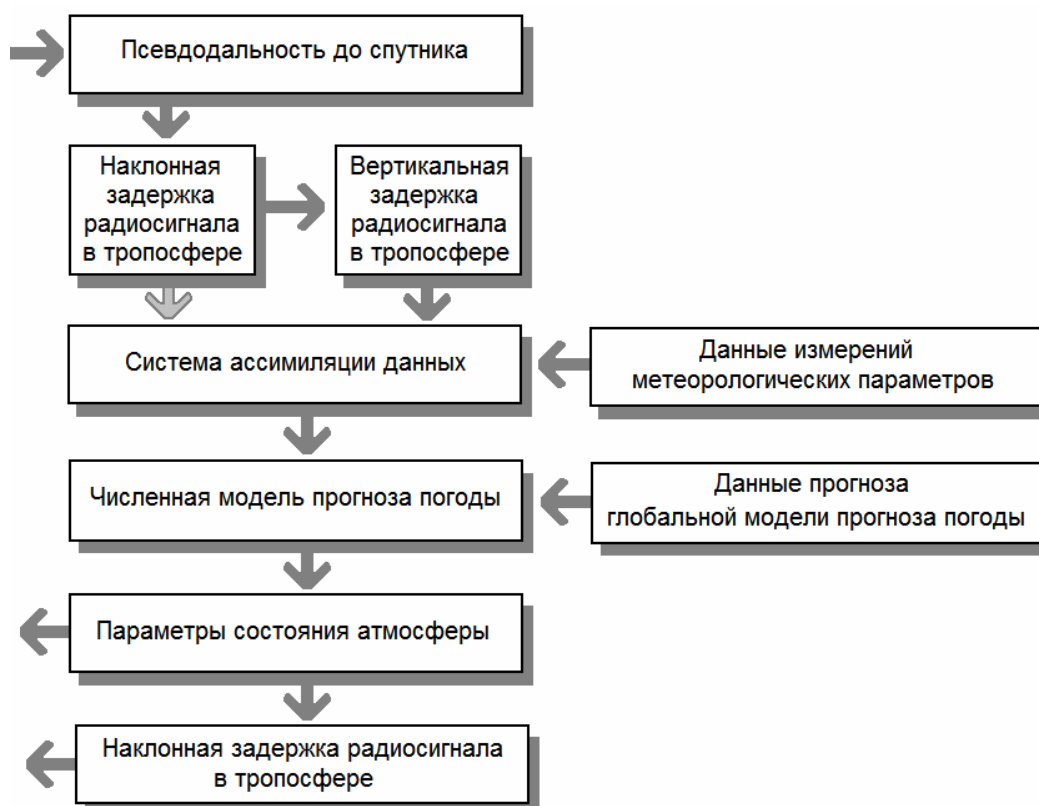
Значения лунно-солнечных ускорений являются функцией времени и рассчитываются либо астрономическим формулам один раз на весь интервал размножения, либо могут браться из навигационного кадра. Расчеты показали не соответствие данных, рассчитанных по рекомендациям ИКД [1], и данных, полученных в навигационном кадре (см. рис. 1). Для проверки качества работы программных средств были взяты данные навигационных сообщений с официального сайта Прикладного потребительского центра [7], полученные в разные моменты времени. В ходе работы сравнивалась ошибка между рассчитанным и реальным положением спутника (см. рис. 2). Разработанные программные средства позволили вычислить положения спутников системы ГЛОНАСС с точностью около 1.8 м.



**Рис. 1. Лунно-солнечные ускорения КА ГЛОНАСС-М №7 за период с 01.01.2010 00:45 по 03.01.2010 01:45 MSK (сплошная линия – вычисленные данные, пунктирная – данные из навигационного кадра)**



**Рис. 2. Среднесуточные значения среднеквадратических ошибок (СКО) определения положения спутников ГЛОНАСС при интервале интегрирования 30 мин в период с 01.01.2010 по 09.02.2010**



**Рис. 3. Блок-схема системы усвоения данных ГЛОНАСС/GPS региональной численной моделью прогноза погоды**

Полученная точность расчета положения спутников системы ГЛОНАСС является удовлетворительной для целей вычисления физических параметров состояния

атмосферы на основе данных измерений задержек распространения навигационного сигнала. Способами улучшения точности данного алгоритма могут быть:

- использование исходных координат спутников в системе ПЗ-90.02;
- использование точно вычисленного истинного звездного времени;
- применение более точных методов интегрирования [2, 3, 4, 6];
- уточнение астрономических формул из научной литературы.

Информация о задержках радиосигналов в атмосфере, получаемая на основе данных измерений псевдодальностей до спутников и координат местоположения космических аппаратов используется как в численных моделях, осуществляющих расчет влагозапаса атмосферы, так и в системах усвоения данных, предназначенных для использования в численных моделях прогноза погоды (см. рис. 3).

### **Выводы**

Представленные здесь программные аппаратные средства, используемые в наших работах, представляют рабочий комплекс позволяющий отрабатывать задачу дистанционного зондирования атмосферы с требуемой точностью, проводить соответствующие научные исследования. Тем не менее, в различных элементах данной системы имеется большой задел для усовершенствования и увеличения качества получаемых данных, улучшения удобства работы с получаемой информацией для конечного пользователя.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» ГК № П1549.

### **Литература**

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.1 [Текст]. – М.: 2008. – 74 с.
2. Дубошин, Г.Н. Небесная механика: Основные задачи и методы [Текст] / Г.Н. Дубошин. – М.: Наука, 1975.
3. Абалакин, В.К. Основы эфемеридной астрономии [Текст] / В.К. Абалакин. – М.: Наука, 1979.
4. Жаров, В.Е. Сферическая астрономия [Текст] / В.Е. Жаров. – Фрязино: изд. "Век 2", 2006. – 480 с.
5. Gurtner, W. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10 [Text]. – Astronomical Institute of Berne, 2000.
6. Урмаев, М.С. Орбитальные методы космической геодезии [Текст] / М.С. Урмаев. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
7. Официальный сайт Прикладного потребительского Центра на базе Информационно-аналитического центра ЦНИИмаш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru>
8. Чукин В.В. Применение сетевых технологий при построении системы дистанционного зондирования атмосферы с помощью глобальной навигационной спутниковой системы [Текст] / В.В. Чукин // Успехи современного естествознания. – 2008. – №11. – С.58.