

Е.П.Алексашин, Ю.С.Тимофеев, А.М.Ширенин.
Построение селеноцентрической системы координат “Зонд – 8”.

20 октября 1970г. был запущен космический аппарат (КА) “Зонд-8”. Он принадлежал к серии знаменитых КА “Зонд-4–Зонд-8” предназначенных для отработки техники полётов к Луне с возвращением на Землю. Одними из важнейших экспериментов, проводимых на КА серии “Зонд”, были эксперименты по фотографированию Земли и Луны с возвращением материалов съёмки на Землю. Кроме чисто обзорных свойств, снимки поверхности Луны являлись необходимым измерительным материалом для создания на Луне некоторой опорной селенодезической системы координат, которая используется для построения теории поступательно-вращательного движения Луны, для создания различного рода картографических материалов и для навигации беспилотных и пилотируемых КА в окололунном пространстве и на её поверхности.

До осуществления полётов КА к Луне на её видимой поверхности были созданы сети опорных точек, закреплённые координатами характерных деталей кратеров, построенные учёными разных стран по наземным телескопическим и фотографическим наблюдениям. Существенным недостатком этих координатных систем являлось то, что большинство из них строилось независимо друг от друга без учёта параметров их взаимной ориентации и положения. Это приводило к тому, что одни и те же точки физической поверхности имели разные координаты. В 70^х годах в отделе Физики Луны и планет ГАИШ была выполнена фундаментальная работа по созданию единой селенодезической системы координат на базе существующих каталогов. Результаты этой работы авторы Юрий Наумович Липский, Владимир Алексеевич Никонов и Татьяна Петровна Скобелева опубликовали в монографии “Единая система селенодезических координат из девяти каталогов на видимом полушарии Луны”[1].

При послеполётной обработке материалов съёмки Луны с КА “Зонд-8” перед нами была поставлена задача по созданию селеноцентрической системы координат в районе съёмки, которая могла бы быть использована не только для целей картографирования, но и для навигации при выполнении окололунных космических операций. Необходимо было также изучить возможность использования бортовых видеоизображений поверхности небесных тел для целей автономной навигации КА.

Для решения этих задач нами была использована достаточно разнородная измерительная информация. В частности, снимки 1-го и 2-го сеансов съёмки, точки трасс альтиметрирования с КА “Аполлон-15,16,17”, изображения дисков Земли, телеметрическая информация в виде последовательности моментов фотографирования для каждого снимка, векторы положений КА “Зонд-8”, полученные ЦУП по данным наземных радиотехнических измерений. Основной объём информации составляли измеренные на снимках координаты изображений точек физической поверхности Луны.

Одной из главных отличительных особенностей методики создания селеноцентрической системы “Зонд-8” было то, что при построении фототриангуляционной сети по данным фотограмметрических измерений были наложены дополнительные ограничения, вытекающие из того факта, что на моменты фотографирования координаты центров проекции должны принадлежать орбите. Поскольку положения центров проекции выдаются в системе координат жёстко связанной с Луной, они рассматривались нами как измеренные на моменты фотографирования векторы положений КА в этой системе, т.е. несли информацию о положении КА относительно физической поверхности Луны без привлечения каких-либо дополнительных данных. Таким образом, блок построения

фототриангуляционной сети по фотограмметрическим измерениям снимков рассматривался нами как средство автономной навигации для отслеживания движения КА относительно Луны. Это позволило поставить и решить многоточечную краевую задачу для системы дифференциальных уравнений движения КА “Зонд-8” в системе жёстко связанной с Луной с целью уточнения фазового вектора КА на момент начала 1-го сеанса, гравитационной постоянной Луны и выбора согласованной с данным составом измерений модели гравитационного поля из множества существующих. На основе этих данных, на каждой итерации осуществлялся прогноз движения КА на моменты фотографирования. Результаты этого прогноза на очередной итерации построения селеноцентрической сети использовались в виде априорной информации о координатах центров проекции в моменты фотографирования, что давало возможность на каждом очередном цикле обработки согласовывать линейный и динамический масштабы.

Поскольку, описанный выше алгоритм строился на основе нелинейного метода наименьших квадратов и теории оценок состояния динамических систем, необходимо было для запуска процесса построения селеноцентрической системы выбрать достаточно хорошее нулевое приближение к определяемым параметрам. На этом этапе, при включении в обработку измерений 1-го сеанса съёмки, мы ещё раз убедились в важности и полезности работы, проделанной в ГАИШ под руководством Юрия Наумовича Липского по созданию объединённого каталога. Было выбрано 4-е точки каталога, максимально разнесённых по полю изображения и надёжно отождествляемых с точками на снимках “Зонд-8”. Это были 2 точки северного полушария восточнее кратера Хардинг (т.21 и 35) и 2 точки южного полушария в районе кратеров Шиккард и Ми (т.80 и 200). В совокупности с дополнительным составом априорной информации мы смогли с использованием координат этих точек избежать чрезмерных ошибок линеаризации уже на начальном этапе обработки.

Основными результатами обработки фотографических экспериментов “Зонд-8” являются:

- методы и алгоритмы построения селеноцентрической системы координат по данным фотограмметрических измерений и измерений, поступающих от других каналов (существующие каталоги, результаты альтиметрирования, изображения Земли, траекторные данные, моменты съёмки), с одновременным решением многоточечной краевой задачи для системы дифференциальных уравнений, описывающих движение КА по орбите;
- каталог координат 881^{ой} точки, реализующий систему “Зонд-8”, закреплённых абрисами;
- значение селеноцентрической гравитационной постоянной, которое определено в процессе построения каталога совместно с параметрами орбиты КА;
- параметры ориентации и положения системы “Зонд-8” относительно системы Аполлон.

Все эти результаты опубликованы в работе авторов [2].

Теперь, когда исследования Луны в России с применением КА практически приостановлены, и нам приходится заниматься другими проблемами, мы с трепетом вспоминаем о тех блистательных временах, когда мы сотрудничали с отделом Физики Луны и планет ГАИШ, руководимым доктором физико-математических наук Юрием Наумовичем Липским.

Литература.

1. Ю.Н.Липский, В.А.Никонов, Т.П.Скобелева. Единая система селенодезических координат из девяти каталогов на видимом полушарии Луны. М.,Наука,1973,384с.

2. Е.П.Алексашин, Ю.С.Тимофеев, А.М.Ширенин. Селеноцентрическая система координат “Зонд-8”. Методы построения и каталог координат опорных точек. Тр.ЦНИИГАиК специальный выпуск. М.,ЦНИИГАиК ГУТК СССР,1989,216с.

Сведения об авторах.

Алексашин Евгений Павлович, доктор технических наук, профессор МИИГАиК.

Тимофеев Юрий Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИЧ МИИГАиК.

Ширенин Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИЧ “Геодинамика” МИИГАиК.

Адрес: Москва, Гороховский пер.4.МИИГАиК.

E-mail: ера@ipmse.ru