

Использование служебной системы световых маяков миссии «Луна–Глоб» для улучшения теории движения Луны

© А. В. Багров^{1,2}, С. П. Кузин¹, В. А. Леонов¹

¹ ИНАСАН, г. Москва, Россия

² ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина», г. Химки, Россия

Служебная система световых маяков КА «Луна-25», помимо основной задачи точной локализации места посадки станции, будет использоваться для формирования каркаса селенографических координат метрового уровня точности, и для проведения прецизионных астрометрических наблюдений Луны с целью уточнения теории ее движения. В работе использован метод измерения топоцентрических положений звезд по наблюдениям светового маяка измерителем углов, находящимся на борту спутника Луны. При получении большого массива измерений возможно вычисление координат маяка и параметров орбиты спутника. Основа селенографических координат будет базироваться на световом маяке, размещенном вблизи полюса Луны, и существующих в экваториальной зоне Луны уголкового отражателях. При наземных наблюдениях маяка относительно звезд будут получены его высокоточные положения, которые будут пересчитаны на положение центра масс Луны по известным координатам маяка. Ожидается, что наблюдения светового маяка на Луне относительно звезд повысит в несколько раз точность измерения положения центра масс Луны по сравнению с наблюдениями покрытия звезд Луной.

Ключевые слова: оптический маяк на Луне, селенографические координаты, наблюдения с борта спутника Луны, наземные наблюдения маяков, теория движения Луны.

Служебная система световых маяков (ССМ) имеет своей целью получение точной локализации места посадки КА «Луна-25» [1]. Оптические маяки являются точечными источниками видимого света с размером излучающего тела около 2 мм [2, 3], поэтому точность локализации маяка может быть доведена до субмиллиметрового уровня. Принцип решения служебной задачи заключается в наблюдении светового сигнала маяка бортовой телевизионной камерой искусственного спутника Луны (ИСЛ). Для этого маяк должен вклю-

чаться только на короткое время пролета ИСЛ непосредственно над посадочным модулем. Система рассчитана на работу с любыми ИСЛ, в том числе с иностранными, поэтому излучение маяка будет направлено в зенит точки посадки, а его яркость выбрана достаточной, чтобы в элементе разрешения бортовой телевизионной камеры она в 5–10 раз превышала яркость освещенной солнцем лунной поверхности. Уже на первом снимке лунной поверхности с зафиксированной вспышкой света от ССМ служебная задача будет решена, но малое энергопотребление ССМ и огромный ресурс работы полупроводниковых излучателей позволяет поставить вопрос об использовании служебной ССМ для решения навигационных задач, в частности, для установления системы высокоточных селенографических координат.

На текущем этапе исследования Луны точность координатной привязки деталей лунного рельефа и находящихся на поверхности Луны аппаратов представляется достаточной на уровне нескольких метров. Хотя вся поверхность Луны уже снята различными ИСЛ с детализацией снимков до долей метра, координатной привязки этих снимков соответствующего уровня точности еще не существует. Появление на Луне реперных точек с фиксируемыми положениями на уровне миллиметров позволит решить эту задачу. До настоящего времени система селенографических координат определяется через наземные телескопические наблюдения лунной поверхности с угловым разрешением около километра, и ее точность принципиально не может быть лучше нескольких сотен метров на поверхности Луны. Запуск КА «Луна-25» с ССМ обеспечит появление на Луне такого репера.

ССМ не входит в состав научной аппаратуры, и потому не предусматривает ее поддержки специальной угломерной аппаратурой на борту ИСЛ. Эту функцию будет выполнять бортовая телевизионная камера, ориентация линии визирования которой будет определяться бортовой системой ориентации на основе звездных датчиков (рис. 1). При обычной для звездных датчиков точности определения ориентации КА на уровне 6" и углового разрешения бортовой телекамеры 6", точность определения направления на детали лунной поверхности составит примерно 10". С высоты круговой орбиты ИСЛ 200 км эта точность будет соответствовать 10 метрам на поверхности Луны.

В отличие от широко распространенных систем глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС и др.), в которых измерительное устройство находится у потребителя, а точное пространственное положение группировки спутников постоянно контролируется наземными астрономическими наблюдениями, в программе «Луна–Глоб» измерительным устройством является только один спутник, но проводимые им измерения полностью эквивалентны наземным измерениям положения спутника относительно звезд в топосен-трической системе координат (рис. 2) [4].

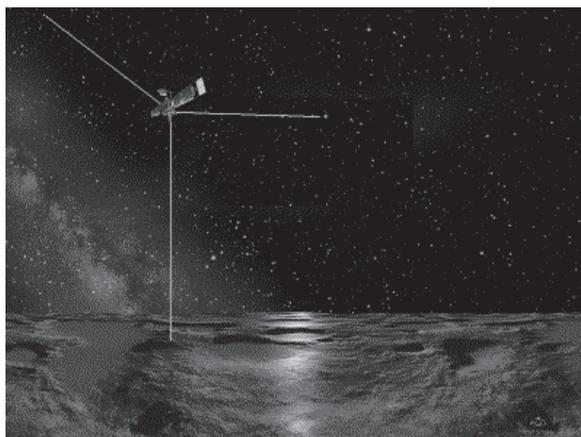


Рис. 1. Ориентация линии визирования бортовой телекамеры ИСЛ относительно звезд

Если ИСЛ находится на полярной орбите, а маяк размещен вблизи полюса Луны, то из нескольких наблюдений маяка можно точно определить положение полюса Луны на ее поверхности и угол наклонения орбиты ИСЛ относительно лунного экватора (рис. 3). Точность определения положения полюса Луны при этом составит несколько метров [6].



Рис. 2. Измерение положения искусственного спутника Земли (ИСЗ) относительно звезды из наземного пункта эквивалентно измерению положения пункта относительно звезды с борта ИСЗ

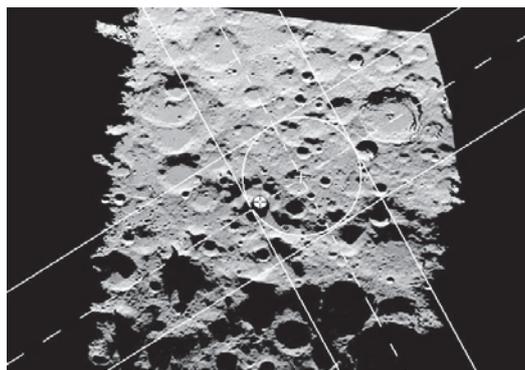


Рис. 3. Схема расположения оптического маяка (*кружок с крестиком*) и полюса Луны (*крестик*) при различных прохождении ИСЛ на полярной орбите. Сплошные линии — границы обозреваемой телекамерой области, пунктирные линии — траектории подспутниковой точки

Поскольку каждое измерение маяка будет проводиться из разных точек орбиты ИСЛ, то при достаточном массиве угловых измерений [7] возможно не только точно вычислить селенографические координаты маяка, но и определить параметры орбиты ИСЛ.

Помимо маяка, излучающего в зенит, на посадочном модуле будет размещен лазерный прожектор, посылающий узкий луч в направлении на Землю. На борту спускаемого модуля будет установлено 9 лазерных диодов, каждый из которых может светить в своем направлении.

В зависимости от ориентации аппарата после посадки по данным его бортового датчика ориентации будет точно известно направление каждого луча, и можно будет вычислить, когда и на какой период времени тот или иной луч окажется направленным на ту или иную наземную обсерваторию. Если в этот период времени обсерватория будет готова проводить наблюдения маяка, он по команде с Земли будет включен для проведения сеанса измерений. Для наземного наблюдателя маяк будет выглядеть как точечный источник света на краю лунного диска на фоне звезд. Задачей наблюдений будет измерение угловых расстояний между маяком и перемещающимися в поле зрения звездами. Методика таких наблюдений хорошо отработана наблюдателями ИСЗ и астероидов. Поскольку высокоточные координаты маяка позволяют вычислить по ним мгновенное положение центра масс Луны, а точность угломерных измерений в поле зрения телескопа может быть на уровне 0.01" и лучше, подобные наземные наблюдения позволят повысить точность траекторных измерений движения центра масс Луны по сравнению с достигнутой при наблюдениях покрытий звезд Луной.

На том же спускаемом аппарате вместе с лазерным маяком предполагается установка лазерного отражателя. В этом случае лазерный маяк может быть использован для наведения узкого зондирующего луча на отражатель,

что повысит точность измерений дальности до маяка. Кроме того, точное знание расположения маяка относительно центра масс Луны позволит сильно упростить обработку дальномерных измерений для вычисления расстояний между центрами масс Земли и Луны.

Таким образом, работа служебной ССМ позволит значительно продвигаться в решении координатных и навигационных задач лунных исследований. Большую точность измерений можно будет достичь при применении специального угломерного инструмента на борту ИСЛ. Например, использование в качестве угломерного инструмента оптического двухбазового интерферометра [8] может на два–три порядка повысить точность позиционных измерений на Луне (до субмиллиметрового уровня), а проведение наблюдений лазерного маяка наземным оптическим интерферометром позволит довести уровень точности тригонометрических измерений дальности до маяка до уровня лучшей лазерной дальнометрии.

Литература

1. Bagrov A. V., Pichkhadze K. M., Sysoev V. K., Vernigora L. V. Light Beacons for landing module «Luna Glob» // Труды Межд. Астрон. Конгресса «ASTROKAZAN-2011». — Казань: Изд-во Казанского федер. ун-та, 2011. — С. 128–129.

2. Багров А. В., Вернигора Л. В., Вятлев П. А., и др. Создание светодиодных оптических маяков для космических аппаратов // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. — Химки: ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина», 2011. — № 4. — С. 37–43.

3. Багров А. В., Барабанов А. С., Вернигора Л. В., и др. Автономные светодиодно-лазерные оптические маяки для высокоточной локализации космических аппаратов // Актуальные проблемы российской космонавтики: Труды XXXVI Академических чтений по космонавтике. — М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2012. — С. 478–479.

4. Багров А. В. Прецизионная космическая астрометрия без астропунктов для Земли, Луны и Марса // Сборник тез. докладов научной конф. «Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы». — М.: ГАИШ, 2012. — С. 44–45.

5. Багров А. В., Барабанов А. А., Вернигора Л. В., Вятлев П. А., Мартынов М. Б., Пичхадзе К. М., Сысоев В. К. Применение лазерных диодных маяков для определения координат космических и наземных объектов // Космические исследования. — М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2013. — Т. 51. — № 5. — С. 419–427.

6. Alexander V. Bagrov, Vladislav A. Leonov, Alexander S. Mitkin, Alexander F. Nasyrov, Andreu D. Ponomarenko, Konstantin M. Pichkhadze, Valentin K. Sysoev. Single-satellite global positioning system // Acta Astronautica. — 2015. — Vol. 117. — P. 332–337.

7. Ширенин А. М., Мазурова Е. М., Багров А. В. Построение высокоточной селенодезической системы координат на физической поверхности Луны с помощью светодиодных маяков, расположенных на ее поверхности // Космические исследования. — М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2016. — Т. 54. — № 6. — С. 493–498.

8. Багров А. В., Пичхадзе К. М., Сысоев В. К., Насыров А. Ф. Интерферометрический дугомер для измерения угловых положений наземных источников с борта малого космического аппарата // Актуальные вопросы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований: сборник трудов. — Химки: ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина», 2015. — С. 311–315.

The LUNA-GLOB Mission's Light Beacon Service to Improve the Theory of the Moon's Motion

A. V. Bagrov, S. P. Kuzin, V. A. Leonov

The Light Beacon Service System (LBSS) of the "Luna-25" (LUNA-GLOB) mission will not be used just in its main function to find the landed stations' locations precisely, but for the navigation purposes as well, and also, to establish a high-precision selenographic coordinate system with 10-meter accuracy and to provide precision astrometric observations of the lunar light beacons in order to contribute in the current theory of the Moon's Motion. We shall use a lunar satellite on the polar orbit (the "Luna-26" mission) for angular measurements from the orbit instead of surface-based angular observations. This will be achieved using a combination of self-determinations of the satellite by its on-board star sensors and the position of the bright light flashing from the beacon in the field of view of an on-board TV-camera, which is going to play the role of a goniometric device. We shall use methods of equalization obtaining a long row of the "beacon-satellite-star" measured angles in order to determine accurately both the beacon selenodetic coordinates and orbital parameters of the satellite. The positioning accuracy has to be about 10 m (if the altitude is 100 km), because the accuracy of the on-board star sensors is 6" and the TV-camera's angular resolution is also 6". The precise enough positions of the lunar poles will be determined by the light beacon observations only. The beacon position is good for absolute latitude observations; however, "zero meridian" longitudes will be established through observations of light flashes from the laser retro-reflectors on the Moon which are going to be illuminated by our on-board projector. The established selenodetic frame will provide for the positioning of any target on the Moon surface with 10 m accuracy in the vicinity of the frame knots, and with the accuracy of less than a hundred meters further away from them.

The beam of the light beacon which is pointing to the Earth will be bright enough to observe it with earth-based telescopes. It will be possible to observe this beacon and background stars near the edge of the lunar disk which will allow for precision measurements of the beacon instant positions relatively to the stars. As we know the position of the beacon relatively to the Moon masses center, we are able to calculate its instant celestial coordinates at least tenfold better than by the classical observations of stars eclipsed by the Moon.

Keywords: optical beacon on the Moon, selenodetic coordinates, onboard observations from the lunar satellite, land observations of beacons, the theory of the motion of the Moon.