

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНЕТНОГО РАДИОЛОКАТОРА ДЛЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

к.т.н. С.В. Козелков^{*}
(представил д.т.н., проф. А.С. Стрелков)

Исследованы особенности использования планетного радиолокатора в навигационном обеспечении дальних космических полетов. Рассмотрены технические характеристики евпаторийского планетного радиолокатора.

Возникновение планетной радиолокации было связано с необходимостью обеспечения полетов первых межпланетных автоматических станций (МАС) серии «Венера» и «Марс», поскольку местоположение исследуемых планет было известно с недостаточной точностью. С тех пор в процессе подготовки и осуществления каждой очередной космической экспедиции радиолокационные измерения расстояния и скорости планет являются неотъемлемой частью навигационного обеспечения и включаются во все программы полета космических аппаратов (КА). При этом радиолокационные измерения расстояния и скорости планет направлены на решение таких фундаментальных и прикладных задач: уточнение орбиты и местоположения планеты непосредственно в период полета МАС для коррекции траектории этой станции; определение рельефа приэкваториальных областей поверхности планеты, знание которого необходимо для точной привязки измеренных значений расстояния и скорости к центру планеты; накопление экспериментальных данных с целью дальнейшего уточнения теории движения планет и фундаментальных астрономических констант (астрономической единицы, параметров орбит планет, их массы, радиуса и др.), которые являются основой прогнозирования орбиты при подготовке программы полета МАС.

Кроме решения чисто астрономических задач, радиолокационные исследования эффективно дополняют традиционные методы планетных исследований общего характера. К их числу относятся: изучение физического строения поверхности планет, элементов их вращения, построение радиолокационных карт поверхностей различного функционального назначения (яркостных, морфологических, гипсометрических и др.); изучения эволюции планетных орбит и Солнечной системы в целом. Возможность решения задачи повышается по мере накопления экспериментальных данных исследования орбит на длительный период; исследование спутников Юпитера, колец Сатурна, ближних комет и малых

планет, астероидов главного пояса и астероидов, сближающихся с Землей (Икар, Эрос, Апполон, Таутатис).

Среди малых планет земной группы наиболее трудна для точного долговременного прогноза орбита Меркурия, испытывающая сильные гравитационные возмущения из-за близости к Солнцу. Так, при радиолокации Меркурия с помощью Евпаторийского ПРЛ в 1995 году было измерено, что планета находится в среднем на 7 км дальше, чем следовало из расчетов, основанных на всех предыдущих российско-украинских и американских радиолокационных измерениях на интервале с 1963 по 1992 годы [1]. При отсутствии свежих радиолокационных данных расхождения с расчетами могут быть существенно больше. Поэтому полет на Меркурий, а тем более попытки выведения спутника Меркурия и посадки на его поверхность без предварительных радиолокационных измерений будут невозможны. Космические экспедиции к естественным спутникам Марса и планет-гигантов в обязательном порядке потребуют предварительного уточнения орбит этих спутников с помощью радиолокации, поскольку сейчас не существует удовлетворительных аналитических теорий движения естественных спутников и ошибки прогноза могут составлять многие сотни и тысячи километров.

На участке перелета к внешним планетам, при пересечении главного пояса астероидов, возможны близкие соединения с некоторыми из астероидов. Располагая мощным радиолокационным телескопом, например РТ-70 в районе г. Евпатории, можно осуществить уверенное наведение дальних КА на выбранный астероид для телевизионной съемки или посадки зонда на его поверхность. Орбиты околоземных астероидов или комет непосредственно после открытия известны очень грубо, с ошибками в десятки тысяч километров. Но достаточно нескольких дней радиолокационных измерений, чтобы на несколько порядков уточнить эти орбиты [1]. Более того, даже давно открытые астероиды и кометы, по которым имеются многолетние ряды оптической астрометрии, при очередных возвращениях к Земле имеют орбиты, существенно отличающиеся от вычисленных, поскольку многие из возмущений трудно поддаются моделированию. Так, на этапах подготовки полетов к астероидам 433 Эрос по программе NEAR, 4660 Нереида по программе Muses - C и 6489 Голевка по программе Cleme - ntine 2, неопределенность координат пока составляет десятки километров. По кометам Вильда и Виртанена, исследования которых планируется с помощью ДКА "Stardust" и "Rosetta", неопределенность прогноза координат доходит до 1500 и 2400 км, соответственно [1, 2]. Поэтому для существенного уменьшения неопределенности прогноза в Голдстоуне и Аресибо планируется радиолокация этих астероидов и комет как при подготовке, так и при осуществлении этих космических программ.

В настоящее время единственный вне США ПРЛ был создан в Евпатории, сначала в дециметровом диапазоне, на базе антенны АДУ-1000, а

после введения в строй 70 - м антенны П - 2500 – на ее основе. Сейчас Евпаторийский ПРЛ имеет следующие параметры:

- центральная частота - 5010 МГц;
- непрерывная излучаемая мощность - до 200 кВт;
- поляризация излучаемого сигнала - левая круговая;
- эффективная площадь антенны:
 - в режиме излучения - 2700 м²;
 - в режиме приема - 2630 м²;
- суммарная шумовая температура:
 - по правому поляризованному каналу - 28 К;
 - по левому поляризованному каналу - 44 К;
- развязка поляризованных каналов - менее 20 дБ;
- тип дальномерных сигналов - периодические ЛЧМ;
- девиация ЛЧМ сигналов - (1,2,4,...,256,512) кГц;
- период ЛЧМ сигналов - (1,2,4,...,4096,8196) мс.

При этом энергетический потенциал W записывается как

$$W = P + A_t + A_r - 1,5L - T,$$

где P, A_t, A_r, L и T , соответственно, логарифмы излучаемой мощности, эффективных площадей передающей и приемной антенн, длины волны и суммарной шумовой температуры, для Евпаторийского ПРЛ составляет порядка 125 дБ. Расчеты и прямые эксперименты показывают, что при радиолокации Марса в верхнем соединении, когда расстояние до него достигает 380 млн. км, для получения одного надежного измерения дальности необходимо накопление эхосигналов в течение суточной зоны видимости. Поэтому данный потенциал является тем порогом, ниже которого опускаться нельзя, что необходимо учитывать в случае проектирования нового ПРЛ. Таким образом, приведенные доводы и технические характеристики ПРЛ доказывают высокую эффективность радиолокационной поддержки при навигационном обеспечении дальних космических полетов к разнообразным телам Солнечной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.J.Osto. The Role of Groundbased Radar in Near. – Earth object Hazard Identification and Mitigation, in Hazards due to Asteroids and Comets, T.Gehrels, ed., Arizona Press, 1994. - P. 259 - 282.

2. S.J.Osto and A.L.Zaitsev. Radar Follow – Up of Spasequard Discoveries: Imaging and Astrometry, in Beginning the Spasequard Survey, Vulcano, Italy, 1995. - P.32 - 33.