

Методика наземных испытаний длинноволнового планетного радара (Миссия "Фобос-Грунт")

Н.А. Арманд, В.М. Смирнов, В.Н. Марчук, О.В. Юшкова¹, В.В. Абрамов, А.С. Бажанов, А.И. Греков, В.И. Кричевский²

¹ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН,

²Специальное конструкторское бюро ИРЭ РАН

пл. ак. Б.А. Введенского, д. 1, Московская область, Фрязино, 141190
marchuk@ire.rssi.ru

Предложена методика наземных испытаний длинноволнового планетного радара ДПР, входящего в состав комплекса научной аппаратуры проекта «Фобос-Грунт». Радар ДПР предназначен для дистанционного зондирования поверхности и подповерхностной структуры грунта Фобоса методом импульсного радиозондирования вдоль трассы полета космического аппарата (КА) «Фобос-Грунт».

The technique of land tests of the long-wave planetary radar LWPR which is a part of a complex of scientific equipment of the project "Fobos-ground" is offered. LWPR is intended for remote sounding of surface and subsurface structures of Phobos ground by pulse radio sounding method along a flight line of "Phobos-Grunt" spacecraft.

Введение

Длинноволновый планетарный радар представляет собой радиолокационный комплекс, предназначенный для зондирования грунта спутника Марса методом импульсного радиозондирования на частоте 150 МГц длительностью 26,6 нс (четыре периода несущей частоты), что соответствует полосе частот 50 МГц. Выбранный частотный диапазон позволит осуществить зондирование грунта Фобоса, при принятой модели поверхностного слоя, до глубин от единиц до сотен метров с разрешающей способностью не менее 2 м. Основной целью экспериментов с применением ДПР является выявление глубинной структуры Фобоса, исследование рельефа и шероховатости поверхности Фобоса, оценка диэлектрических свойств грунта на разных глубинах вдоль трассы полета космического аппарата (КА).

Прибор ДПР отличается от георадаров, используемых обычно для исследования покровов Земли, большим рабочим диапазоном по дальности, вызванным необходимостью работать как с орбиты КА, так и с поверхности Фобоса. Режимы работы прибора предусматривают формирование сигнала либо в виде одиночного импульса, состоящего из четырех периодов радиочастоты - простого сигнала, либо в виде псевдослучайной последовательности радиочастотных подимпульсов – сложного фазокодомодулированного (ФКМ) сигнала. Параметры и типы излучаемых сигналов определяются постановкой задачи по зондированию структуры грунта и техническими возможностями КА.

При предполетной подготовке прибора ДПР необходимо провести наземные эксперименты, позволяющие выявить и устранить возможные недоработки, оценить и экспериментально проверить энергетический потенциал прибора, отладить алгоритмы обработки на экспериментальных данных.

Режимы работы прибора ДПР

Для каждого типа эксперимента по зондированию Фобоса миссии «Фобос-Грунт» предназначен отдельный режим, учитывающий дальность от космического аппарата (КА) «Фобос-Грунт» до зондируемой поверхности. Ниже перечислены используемые режимы, в скобках после номера режима указано количество подимпульсов.

Режим 1 - (8191) - Обзорное зондирование всей дневной поверхности Фобоса при нахождении КА на квазисинхронной орбите (КСО) в диапазоне высот от 50 км до 100 км.

Режим 2 – (2047) - Детальное зондирование выбранных участков поверхности при нахождении КА на квазисинхронной орбите в диапазоне высот от 50 км до 70 км.

Режим 3 – (255) - Зондирование при снижении КА для посадки в диапазоне высот от 30 км до 1 км.

Режим 4 – (1) - Зондирование при снижении КА для посадки в диапазоне высот от 1 км до 100 м.

Состав прибора ДПР

Внешний вид прибора ДПР представлен на рис. 1 (для масштаба на заднем плане помещен ноутбук). Прибор ДПР состоит из приемопередающей антенны и блока электроники. Общий вес прибора 3.5 кг, среднее энергопотребление 6 Вт. Одна антенна служит как для передачи, так и для приема сигнала, с разделением по времени, поэтому существует ограничение по минимальной дальности зондирования (мертвая зона), обусловленное временем переключения из режима передачи в режим приема.



Рис. 1. Общий вид прибора ДПР

Теоретические предпосылки к проведению наземных экспериментов

Мощность $P(H)$ отраженного сигнала от сферической поверхности вычисляется по формуле:

$$P(H) = P_0 \frac{Ga^2 \cdot \lambda^2 R_{01}}{64 \pi \cdot H^2 \cdot (1 + H/r)^2}$$

где $P_0=20$ Вт – мощность излучаемого сигнала, R_{01} – коэффициент отражения от верхней границы ($R_{01}=0.5$), $Ga=1.4$ – коэффициент усиления антенны, H – расстояние до поверхности, r – радиус кривизны поверхности, $\lambda=2$ м – длина волны. Для высоты 100 м получаем $P(100) = 6.91 \cdot 10^{-6}$ Вт. Так как в радаре ДПР используется широкополосный сигнал, приведенные расчеты следует считать оценочными.

Для случая отражения от ограниченной поверхности с площадью эффективного рассеяния σ (в том числе и от металлического уголкового отражателя) формула расчета отраженной мощности приобретает вид:

$$P_{\sigma}(H, a) = P_0 \frac{Ga^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma(a)}{(4\pi)^3 \cdot H^4}$$

Для расстояния 100 м и уголка с размером ребра $a=1.5$ м получаем $P_{\sigma}(100, 1.5) = 3.77 \times 10^{-8}$ Вт. Зависимость отношения сигнал – шум (рассчитанная по отношению к уровню галактических шумов) от размеров уголкового отражателя и расстояния до него приведено на рис 2.

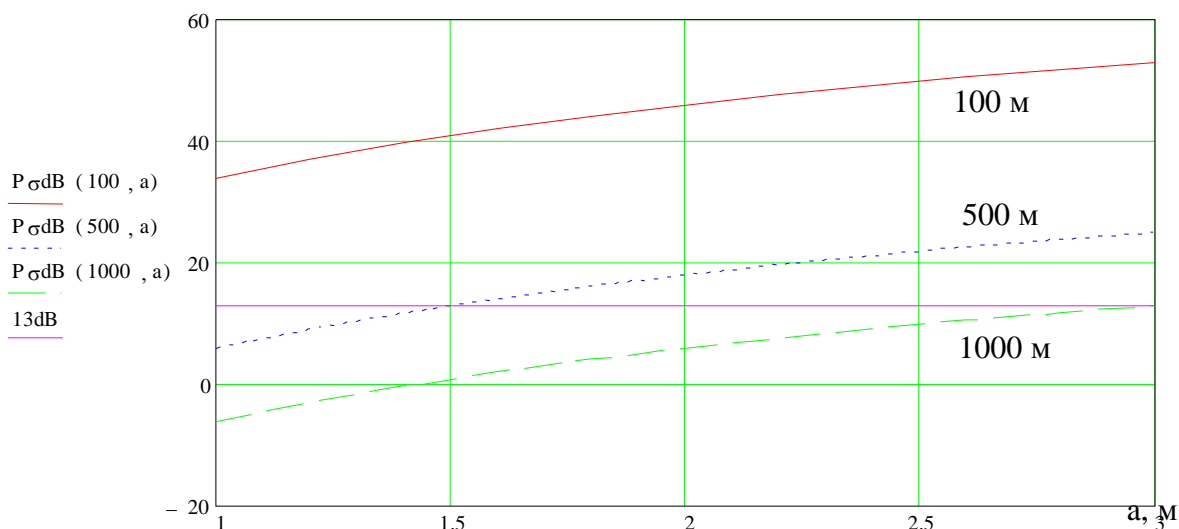


Рис. 2. Зависимость мощности отраженного сигнала от размеров отражателя a (на расстояниях 100, 500, 1000 м)

Как следует из анализа кривых на рис.2, на расстояниях до 500 м отраженный сигнал будет уверенно приниматься от отражателя размером 1.5 м. На больших расстояниях уровень отраженного сигнала от такого отражателя уменьшается до 13dB и ниже, поэтому необходимо использовать сложный сигнал (ФКМ-последовательность) режима 3, обеспечивающий усиление на 10-20 dB.

Оценка амплитуды и формы сигнала ДПР

Для оценки характеристик отраженного сигнала: амплитуды и формы отраженного сигнала, а также экспериментального определения разрешающей способности радара ДПР предлагается использовать отражение от уголкового отражателя размером 1.5 м. Схема эксперимента приведена на рис.3. Радар ДПР размещается на высоте порядка 10 м (или выше). Уголкового отражателя располагается на расстоянии 100 м от него на пустой плоской поверхности (рис.3). Производится накопление отраженного сигнала в течении 1 – 2 минут (100-200 циклов измерений). Затем уголок убирается из поля зрения ДПР и производится накопление фонового уровня помех и отражений. Отраженный от уголкового отражателя сигнал получается путем вычитания одной усредненной записи из другой: таким образом можно оценить его форму и амплитуду. Перемещая уголок можно оценить разрешающую способность по дальности радара ДПР. Аналогичным образом проводятся испытания радара ДПР в режиме 3. Особенностью режима 3 является автоматическое определение дальности до отражающей поверхности, поэтому для удержания сигнала в заданной области

потребуется использование мощной отражающей поверхности, например стены здания или металлического ангара.

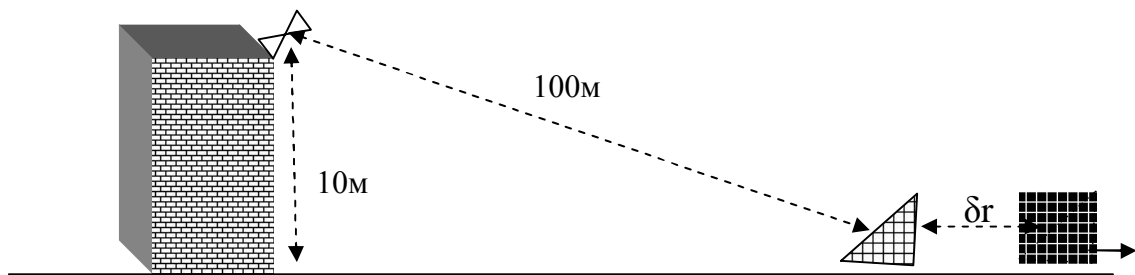


Рис. 3. Схема проведения экспериментов по определению основных характеристик сигнала прибора ДПР при малых дальностях зондирования

Проверка работоспособности прибора ДПР в режимах 1 и 2

Режимы 1 и 2 предназначены для работы при дальностях свыше 50 км, поэтому в натуральных условиях проверить их работоспособность практически невозможно. Для проверки всех режимов работы прибора ДПР в лабораторных условиях разработана контрольно-испытательная аппаратура (КИА ДПР), позволяющая имитировать затухание и запаздывание сигнала ДПР. Входящее в состав КИА ДПР прикладное математическое обеспечение LWR_KIA позволяет принять оцифрованный сигнал прибора ДПР, оценить ошибку в определении дальности, отношение сигнал-шум, количество ошибок при передаче данных. Вид панели управления программы LWR_KIA приведен на рис.4. Слева сверху показаны устанавливаемые параметры, справа сверху – результат анализа получаемых данных. На верхнем графике показан принимаемый сигнал (ФКМ-последовательность), (в данном случае сильно ослабленный и неразличимый на фоне шума, на порядок превышающего уровень сигнала). На графике внизу показан результат корреляционной обработки: так как в первом режиме используется 8191-точечная последовательность, то после обработки шумы становятся пренебрежимо малыми по сравнению с обработанным сигналом.

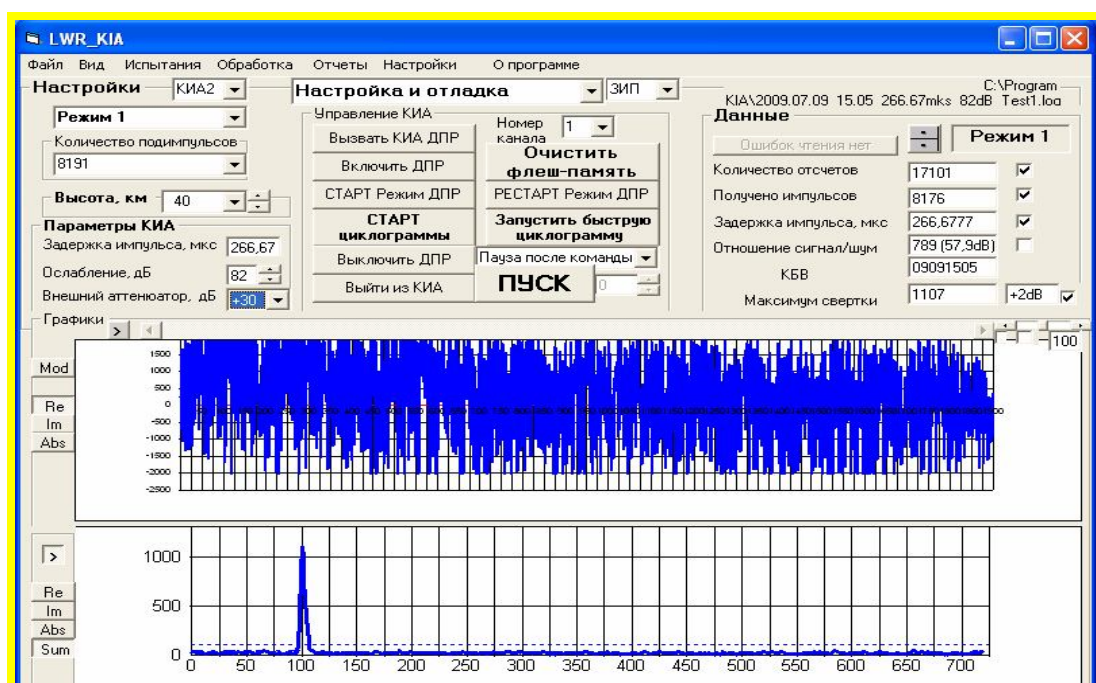


Рис. 4. Вид панели управления программы LWR_KIA при испытаниях в составе КИА в 1-м режиме работы ДПР

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований РАН «Радиоэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека».

Литература

1. К. Кук, М. Бернфельд. Радиолокационные сигналы. М.. Советское радио, 1971.
2. Л.Е. Варакин Теория сложных сигналов. М.: «Сов. радио», 1970 г.
3. Справочник по радиолокации, ред. М. Сколник. М., Советское радио, 1978.