

Краткие сообщения

УДК 621.396.96

Определение затухания радиоволн в атмосфере мощными РЛС миллиметрового диапазона

Г.К. Соловьев, А.А. Толкачев, В.Е. Фарбер

Рассмотрены методы определения затухания радиоволн радиолокационными средствами миллиметрового диапазона, предназначенными для наблюдения объектов, находящихся за пределами атмосферы.

Methods of evaluation of atmospheric attenuation by millimeter-wave radar means designed for monitoring out-of-atmosphere objects are considered.

Введение

Как известно [1,2], тропосфера вносит заметное затухание при работе РЛС в миллиметровом диапазоне длин волн (ММДВ), которое определяется поглощением в атмосферных газах, главным образом кислороде, а также парах воды и гидрометеорами (облачностью, дождями, снегопадами и туманами). Даже в окнах прозрачности, образующихся в результате избирательного поглощения радиоволн атмосферными газами и парами воды, затухание на трассе распространения сигнала в обе стороны может составлять при не слишком малых значениях углов места величину от десятых долей децибела до нескольких децибел.

Можно различать две задачи: оценка статистических характеристик затухания в атмосфере для определенного района Земли («метеорологическая надежность»), где предполагается размещение РЛС, и экспериментальная проверка реализующихся затуханий при проведении исследований на действующих РЛС. Цель работы – рассмотреть некоторые методы определения затухания для второго случая.

Известны методы, основанные на измерениях отражений импульсных зондирующих сигналов от границ среды [3] и собственного излучения [4]. Однако эти методы требуют разработки дополнительной аппаратуры, обычно функционально не связанной с выполнением основных задач РЛС. Рассмотрим экспериментальные методы определения затухания радиоволн в атмосфере, опирающиеся на применение штатной аппаратуры РЛС или системы РЛС.

Определение затухания с помощью одной РЛС ММДВ

Для определения затухания используется зависимость затухания сигналов от угла места наблюдения космического объекта (КО). Для этого необходимы КО с нефлюктуирующей и заранее известной эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР). Обычно используются специализированные ИСЗ сферической формы.

Измеряемое РЛС отношение сигнал-шум определяется соотношением [5]

$$q^2 = \frac{\Pi_0 \sigma_{\text{эфф}}}{R^4} \Gamma, \quad (1)$$

где Π_0 – импульсный энергетический потенциал; $\sigma_{\text{эфф}}$ – ЭПР КО; R – дальность до КО; Γ – коэффициент затухания в атмосфере.

Введем понятие эффективного импульсного потенциала $\Pi = \Pi_0 \Gamma$ и перепишем (1) следующим образом:

$$\Pi = \Pi_0 \Gamma = \frac{q^2 R^4}{\sigma_{\text{эфф}}}. \quad (2)$$

Для сферически однородной атмосферы коэффициент затухания Γ определяется только длиной трассы распространения радиоволн:

$$\Gamma = \Gamma(\varepsilon) = 10^{-2H\gamma_0/10\sin\varepsilon} = 10^{-\gamma/10\sin\varepsilon}, \quad (3)$$

где ε – угол места направления на КО; H – эффективная толщина атмосферы; γ_0 – погонное затухание в атмосфере; γ – затухание в атмосфере при вертикальном зондировании, учитывающее прохождение сигнала через атмосферу дважды (туда и обратно), как это принято для радиолокационных задач.

С учетом (3) зависимость потенциала (2) от угла места ε принимает вид

$$P = P_0 = 10^{-\gamma/10\sin\varepsilon}. \quad (4)$$

Формула (4) справедлива и для случая слоисто-однородной атмосферы, так как полное затухание может быть представлено как аддитивная сумма затухания в каждом слое:

$$\gamma = \sum_{i=1}^N 2H_i\gamma_i, \quad (5)$$

где γ_i – погонное затухание в i -ом слое атмосферы; H_i – толщина i -го слоя атмосферы; N – количество слоев атмосферы.

При радиолокационном наблюдении сферического ИСЗ с помощью РЛС ММДВ получают реализацию отношения сигнал-шум q^2 , которая легко пересчитывается в реализацию потенциала (2). Аппроксимируя эту реализацию потенциала функцией вида (4), находим значение импульсного энергетического потенциала P_0 и значение затухания γ_0 в атмосфере при вертикальном зондировании.

Естественно, что могут быть использованы РЛС, обладающие потенциалом, достаточным для наблюдений ИСЗ. Оценим величину этого потенциала. Предположим, что затухание Γ в атмосфере отсутствует, сферические эталонные ИСЗ имеют диаметр 2 м и ЭПР $S=3,14 \text{ м}^2$, высоты орбит ИСЗ превышают 300 км, что соответствует дальности радиолокационных наблюдений ИСЗ $R \approx 300-2000$ км. Тогда, учитывая необходимые для сопровождения ИСЗ значения отношения сигнал-шум, получим величину необходимого потенциала не менее $10^{24} \dots 10^{25} \text{ м}^2$. Такого уровня потенциалом обладает уникальная в своем роде РЛС «Руза», работающая в ММДВ [6].

Удобным является графическое представление реализации потенциала в координатах $1/\sin\varepsilon$; $10\lg(P)$, где $P^* = P/\sigma_{\text{эфф}}^*$ – приведенное значение потенциала. Аппроксимирующая функция при этом представляет собой прямую линию, ее наклон определяет затухание γ в атмосфере при вертикальном зондировании, а точка пересечения с осью ординат определяет $P_0^* = P_0/\sigma_{\text{эфф}}^*$. Примеры экспериментально полученных реализаций на РЛС «Руза» [6] значений потенциала приведены на рис. 1 и рис. 2.

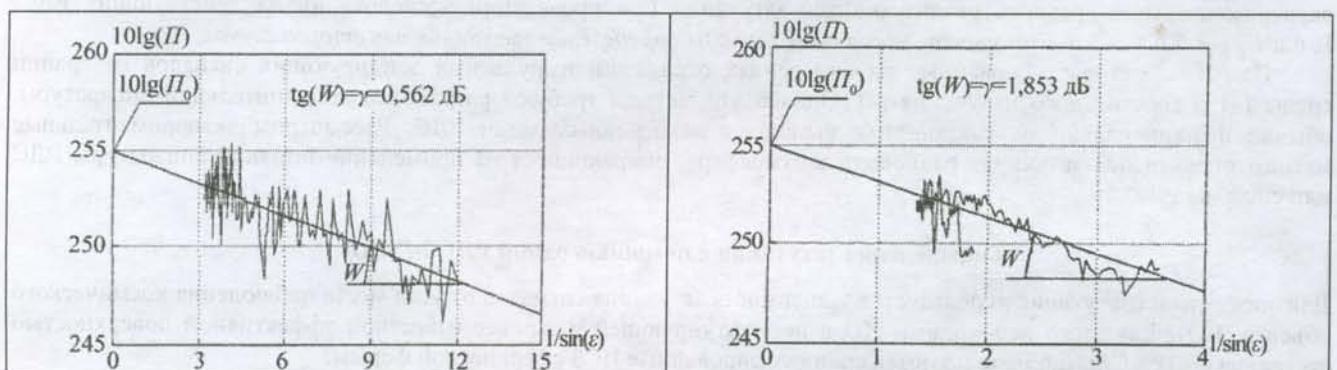


Рис. 1

Рис. 2

Отличия от линейной гипотезы при сглаживании определяются ошибками измерения величин сигнала РЛС и справедливостью предположения об однородности атмосферы в проведенном эксперименте.

В выбранной системе координат экспериментальная кривая, как и следовало ожидать, неоднозначна и имеет две ветви, соответствующие восходящему и нисходящему участкам траектории ИСЗ (рис.2).

Определение затухания с помощью системы РЛС различных диапазонов длин волн

Предлагаемая методика основана на том, что две РЛС, расположенные в одной точке стояния, одна из которых (РЛС1) работает в миллиметровом, а вторая (РЛС2) – в более длинноволновом, например, в сантиметровом диапазоне длин волн (СМДВ), одновременно сопровождают КО с известной нефлюктуирующей ЭПР, измеряют отношения сигнал-шум и по их соотношению определяют затухание радиоволн ММДВ в атмосфере.

Для РЛС1 и РЛС2 уравнение (1) принимает соответственно вид

$$q_1^2 = \frac{\Pi_1 \sigma_{\text{эфф}} \Gamma_1}{R^4}, \quad q_2^2 = \frac{\Pi_2 \sigma_{\text{эфф}} \Gamma_2}{R^4},$$

$$\text{откуда } \frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} = \frac{q_1^2 \sigma_{\text{эфф}} S_2}{q_2^2 \sigma_{\text{эфф}} S_1}.$$

Учитывая, что затухание радиоволн сантиметрового диапазона в атмосфере незначительно [1], можно принять $\Gamma_2=1$. Тогда

$$\Gamma_1 = \frac{q_1^2 \Pi_2 \sigma_{\text{эфф}}}{q_2^2 \Pi_1 \sigma_{\text{эфф}}}.$$

- Рассмотренные методики дают возможность оперативного определения затуханий с помощью аппаратуры РЛС и систем РЛС, не оборудованных специальной экспериментальной аппаратурой.

Литература

1. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов.радио, 1972.
2. Красюк Н.П., Коблов В.Л., Красюк В.Н. Влияние атмосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Рейфер А.Б., Алексеенко М.И., Бурцев П.Н. и др. Справочник по гидрометеорологическим приборам. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
4. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. – М.: Наука, 1973.
5. Леонов С.А. Радиолокационные средства противовоздушной обороны. – М.: Воениздат, 1988.
6. Tolkachev A.A., Levitan B.A., Soloviev G.K. et al. A Megawatt Power Millimeter-Ware Phased-Array Radar. – IEEE AES Systems Magazine, July, 2000.

Поступила 25 апреля 2006 г.

Внимание!

В Издательстве «Радиотехника» вышла в свет книга авторов Г. С. Кондратенкова, А. Ю. Фролова

РАДИОВИДЕНИЕ

Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли

Излагаются необходимые сведения для изучения радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли. Основное внимание удалено принципам построения авиационных и космических радиолокационных систем с синтезированной апертурой антеннами (РСА), предназначенных для детального наблюдения (радиовидения) земных объектов естественного и искусственного происхождения. Рассмотрены режимы РСА для получения детальных трехмерных радиолокационных портретов объектов. Показана возможность определения характеристик объектов и распознавания целей по их радиолокационным портретам.

Для студентов вузов, а также инженеров и научных работников, занимающихся проблемами радиовидения Земли. Может быть рекомендовано при подготовке инженеров по специальности 2016 «Радиоэлектронные системы».

По вопросам заказа и приобретения книги обращаться в издательство «Радиотехника» по адресу:

107031, г. Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6,
тел./факс: (495) 625-78-72, 621-48-37, 625-92-41
<http://www.radiotec.ru>, e-mail: info@radiotec.ru