

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УГЛА ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

д.т.н., проф. Е.Л. Казаков, к.т.н. А.Е. Казаков

В статье рассматриваются способы определения величины угла поворота плоскости поляризации за счет влияния эффекта Фарадея на измеряемые элементы поляризационной матрицы рассеяния космического объекта.

При рассмотрении методов получения информации об элементах поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) космических объектов необходимо учитывать влияние среды распространения зондирующего и отраженного от объекта сигнала на элементы определяемой ПМР. Преобладающими эффектами, проявляющимися при распространении радиоволн через атмосферу, являются: искривление траектории распространения вследствие рефракции, запаздывание сигнала по времени, дисперсионные явления, вращение плоскости поляризации радиолокационного сигнала, обусловленное влиянием эффекта Фарадея в ионосфере и др.

При решении задачи распознавания космических объектов по поляризационным признакам наибольшее мешающее воздействие оказывает эффект Фарадея. Оценим качественно величину угла поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при прохождении через ионосферу [1]. Угол поворота плоскости поляризации сигнала после прохождения отрезка пути Δr в ионосфере можно оценить по приближенной формуле

$$\theta \cong \frac{0,05H_{0l}}{f^2} N_m \Delta r, \quad (1)$$

где H_{0l} - напряженность магнитного поля земли в пределах ионосферы; f - несущая частота сигнала; N_m - максимальная концентрация электронов в ионосфере.

Результаты расчетов угла θ в радианах по формуле (1) для трех диапазонов волн при условии, что радиолокационный сигнал проходит участок ионосферы длиной $\Delta r_1 = 700$ км и $\Delta r_2 = 1000$ км, показаны в табл. 1. Как видно из таблицы, величины угла поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при прохождении через ионосферу могут достигать значительной величины, иногда во много раз превышающих 2π , особенно для метрового диапазона волн. Естественно, что не учет влияния ионосферы может привести к измерению элементов ПМР, а следовательно, и поляризационных признаков распознавания космических объектов с большими ошибками.

Существует несколько способов определения угла поворота плоскости

поляризации за счет влияния эффекта Фарадея на измеряемые элементы ПМР космического объекта. Рассмотрим один из них.

Таблица 1

Расчет угла θ в радианах для трех диапазонов волн

λ , м	$\Delta r_1 = 700$ км	$\Delta r_2 = 1\ 000$ км
0,1	0,15	0,23
0,2	1,61	0,91
1	15,5	22,2

Данный способ состоит в получении информации об угле поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при прохождении через ионосферу с последующей коррекцией измеренных элементов ПМР объекта. Выделить эту информацию можно, например, используя то, что угол поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при распространении в ионосфере остается практически постоянным в течение нескольких циклов зондирования радиолокационной станции (РЛС), так как отрезок пути Δr при этом практически не изменяется.

Отраженный от космического объекта радиолокационный сигнал является в общем случае эллиптически поляризованным. Из всех параметров эллипса поляризации в нашем случае интерес представляет угол наклона эллипса поляризации, который определяется из выражения [2]:

$$V = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2E_0 \cdot E_{\text{кр}} \cos \Phi}{E_0^2 - E_{\text{кр}}^2}, \quad (2)$$

где E_0 , $E_{\text{кр}}$ - амплитуды основной и кроссовой составляющих отраженного сигнала; Φ - разность фаз между ними.

Угол V , измеренный в результате обработки принятого сигнала, можно представить как сумму случайной $V_{\text{сл}}$ и неслучайной $V_{\text{ср}}$ составляющих

$$V = V_{\text{ср}} + V_{\text{сл}}. \quad (3)$$

Постоянная составляющая обусловлена влиянием эффекта Фарадея в ионосфере. Случайная составляющая обусловлена поляризационно - рассеивающими свойствами наблюдаемого объекта и меняется от одного зондирования к другому. Эти изменения вызваны тем, что за время между зондированиями объект будет менять свой ракурс по отношению к плоскости поляризации зондирующего сигнала. Постоянную составляющую можно выделить, осуществив последовательное измерение величины V от импульса к импульсу и проведя затем усреднение полученных значений

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n = V_{\text{ср}} + \Delta V. \quad (4)$$

Оценим величину ошибки ΔV , возникающую при усреднении полученных измерений величины V . Для этого воспользуемся значениями комплекс-

ных амплитуд отраженных сигналов, полученных на экспериментальном измерительном комплексе методом физического моделирования по объекту конической формы [3]. Расчеты проводились таким образом, что усреднение вычисленных согласно выражения (2) значений V начиналось с некоторого начального ракурса наблюдения объекта θ_n . Далее в процессе наблюдения ракурс увеличивался на одну дискрету экспериментальных данных в некотором диапазоне усреднения $\Delta\theta$. На рис. 1, в качестве примера, приведены графики ошибок определения угла поворота плоскости поляризации (ΔV) от отношения сигнал/шум (q) для разных интервалов усреднения $\Delta\theta$ при нулевом начальном ракурсе (кривая 1 соответствует $\Delta\theta = 22^\circ$, кривая 2 - $\Delta\theta = 40^\circ$, кривая 3 - $\Delta\theta = 55^\circ$).

Из данных графиков следует, что ошибки могут достигать значительных величин. Уменьшить величины этих ошибок можно, увеличивая интервал наблюдения за космическим объектом, что, естественно, увеличивает время получения информации об угле V_{cp} .

Под вращающейся линейной поляризацией будем понимать такую поляризацию, при

которой угловая скорость вращения поляризации $\Omega_{вр}$ намного меньше угловой частоты зондирующего сигнала. Кроме того, $\Omega_{вр}$ должна быть такой, чтобы за время длительности зондирующего импульса плоскость поляризации совершила бы более одного оборота. В этом случае в отраженном сигнале будет содержаться информация об угле V , обусловленная отражательными характеристиками объекта с учетом наклона плоскости поляризации зондирующих сигналов. Теперь усреднение можно проводить уже на интервале, равном длительности импульса τ_u , т.е.

$$\bar{V} = \frac{1}{\tau_u} \int_0^{\tau_u} V(t) dt = V_{cp} + \Delta V . \quad (5)$$

Для экспериментальной проверки величины ошибок ΔV , возникающих при проведении усреднения текущего значения $V(t)$ были выполнены необходимые расчеты по экспериментальным данным, полученным по объекту конической формы. При этом предполагалось, что в течение длительности зондирующего импульса наблюдаемый объект не изменит своего ракурса, а также то, что его ракурс может быть произвольным. Проведены расчеты при повороте плоскости поляризации зондирующего сигнала в течение импульса на 800° в диапазоне ракурсов наблюдения объекта (θ) от 0 до 72° . Результаты

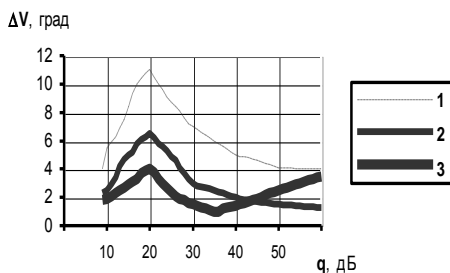


Рис.1. Ошибки определения угла поворота плоскости поляризации

данных расчетов приведены на рис. 2. Из анализа данного графика следует,

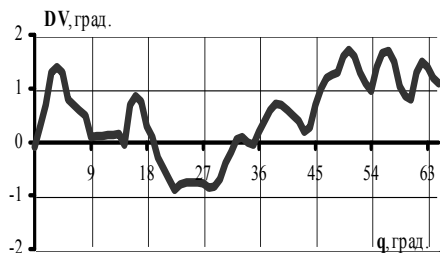


Рис.2. Анализ диапазона ракурсов наблюдения объекта

что при повороте плоскости поляризации на угол, не кратный целому числу оборотов, величины ошибок ΔV достигают единиц градусов. Это можно объяснить тем, что не все просматриваемые ракурсы равноценны. Некоторые из них вносят больший вклад, который в общем случае и определяет величину ошибки измерения угла $V_{\text{ср}}$.

Таким образом, использование вращающейся поляризации позволяет уменьшить время получения информации об угле поворота плоскости поляризации сигнала при его прохождении через ионосферу, а также снизить ошибки измерения этого угла. Следовательно, используя значительный интервал времени в течении нескольких зондирований наблюдаемого объекта или используя вращающуюся поляризацию в течении одного зондирования, можно с небольшими ошибками определить угол поворота плоскости поляризации сигнала возникающего за счет влияния эффекта Фарадея. В дальнейшем, производя вычитание величины данного угла из суммарного угла поворота плоскости поляризации сигнала, получаем величину угла поворота плоскости поляризации только за счет влияния непосредственно характеристик объекта. Так производится компенсация влияния эффекта Фарадея и в дальнейшем полученное значение угла поворота плоскости поляризации за счет влияния характеристик объекта совместно с измеряемыми элементами ПМР могут быть использованы для распознавания КО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972. – 463 с.
2. Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. – М.: Сов. радио, 1966.– 440 с.
3. Казаков Е.Л., Литвиненко П.Н., Шишкин Ю.М., Кравченко А.И. Экспериментальная установка с разнесенным приемом для измерения поляризационных матриц рассеяния радиолокационных целей // Радиотехника. – 1983. – № 3. – С. 24 - 27.

Поступила в редколлегию 25.12.2000