

УДК 621.396.96

Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЙЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Рассмотрено влияние ионосферы на элементы поляризационной матрицы рассеяния космических объектов при распространении радиолокационного сигнала. Предложены методы уменьшения этого влияния и оценены величины ошибок определения угла эллиптичности при прохождении сигнала через ионосферу.

Ключевые слова: радиолокационный сигнал, поляризационная матрица рассеяния.

Введение

Постановка проблемы. В последнее время в научно-технической литературе большое внимание уделяется вопросам распознавания различных классов объектов по радиолокационной информации. При этом рассматриваются воздушные, баллистические, а также космические объекты и реализации амплитуд отраженных от них сигналов. Также уделяется внимание использованию получаемых из поляризационных матриц рассеяния (ПМР) поляризационных признаков для распознавания различных объектов радиолокации. При этом возникает проблема уменьшения влияния ионосферы на измеряемые элементы ПМР при прохождении через нее радиолокационного сигнала. Данная проблема практически не рассматривалась.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время достаточно подробно рассмотрены вопросы выбора поляризационных признаков распознавания объектов локации исходя из информации, содержащейся в ее ПМР, особенности ПМР объектов и получаемых из них поляризационных признаков РЛС с разнесенным приемом, при многочастотном зондировании, методы использования поляризационных признаков, оценка эффективности распознавания различных классов объектов локации по полученным экспериментально поляризационным признакам [1 – 3]. При этом затрагивались вопросы распознавания космических объектов. Однако недостаточно внимания уделялось вопросам устойчивости поляризационных признаков к условиям наблюдения космических объектов, особенно при распространении сигнала через ионосферу.

Целью статьи является рассмотрение влияния среды распространения радиолокационного сигнала на элементы ПМР космических объектов и разработка методов уменьшения этого влияния.

Основной материал

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. Обратим на него особое внимание, так как он может существенно нарушить работу алгоритмов распознавания в РЛС по поляризационным признакам.

Оценим качественно величину угла поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при прохождении через ионосферу. Для этого воспользуемся методикой, изложенной в [4]. Согласно этой методике угол поворота плоскости поляризации сигнала после прохождения отрезка пути Δr в ионосфере можно оценить по приближенной формуле:

$$\theta \cong \frac{0,05H_{01}}{f^2} N_m \Delta r, \quad (1)$$

где H_{01} – 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.

Таблица 1
Результаты расчетов угла θ

λ , м	$\Delta r_1 = 700$ км	$\Delta r_2 = 1000$ км
0,1	0,15	0,23
0,2	1,61	0,91
1	15,5	22,2

Как видно из данной таблицы, величины угла поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при прохождении через ионосферу могут достигать значительной величины, иногда во много раз превышающих величину 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 компенсации влияния эффекта Фарадея на измеряемые элементы ПМР космического объекта. В статье рассмотрим один из возможных при использовании ПМР.

Данный способ состоит в получении каким-либо образом 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 тот факт, что угол поворота плоскости поляризации радиолокационного сигнала при распространении в ионосфере остается практически постоянным в течение нескольких циклов зондирования 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 [5]:

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

где E_o , $E_{кр}$ – амплитуды основной и крессовой составляющих отраженного сигнала; Φ – разность фаз между основной и крессовой составляющими отраженного сигнала.

Угол V , измеренный в результате обработки принятого сигнала, можно представить как сумму случайной и неслучайной $V_{ср}$ составляющей:

$$V = V_{ср} + V_{сл}. \quad (3)$$

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:

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

Оценим величину ошибки ΔV , возникающую при усреднении полученных измерений величины V . Для этого воспользуемся значениями комплексных амплитуд отраженных сигналов, полученных экспериментально по объекту конической формы [6]. 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 ΔV определения угла поворота плоскости поляризации от отношения сигнал/шум для разных интервалов усреднения $\Delta\theta$ при нулевом начальном ракурсе. 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 $V_{ср}$.

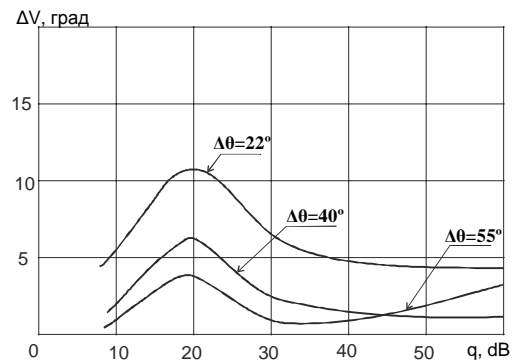


Рис. 1. Зависимость величин ошибок ΔV от отношения сигнал/шум

Чтобы сократить время получения информации об угле поворота плоскости поляризации сигнала в ионосфере можно использовать не последовательное измерение величины V от импульса к импульсу, а осуществить измерение текущего значения $V(t)$ на интервале длительности зондирующего импульса. Для того, чтобы в этом случае “просмотреть” как можно больший диапазон ракурсов космического объекта, целесообразно применить зондирующий сигнал с вращающейся линейной поляризацией. Под вращающейся линейной поляризацией будем понимать такую поляризацию, при которой угловая скорость вращения поляризации $\Omega_{вр}$ много меньше угловой частоты зондирующего сигнала. Кроме того, $\Omega_{вр}$ должна быть такой, чтобы за время дли-

тельности 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, то есть

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

Для экспериментальной проверки величины ошибок ΔV , возникающих при проведении усреднения текущего значения $V(t)$, согласно выражения (5), 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 от 0 до 72° . Результаты данных расчетов приведены на рис. 2.

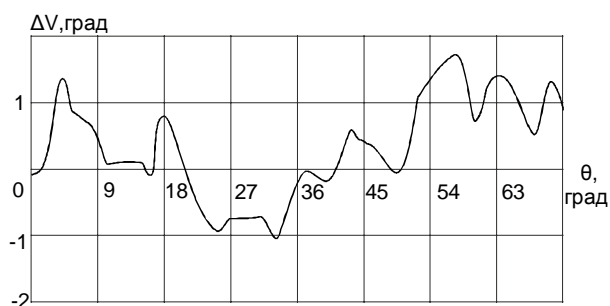


Рис. 2. Зависимость величины ошибок ΔV от ракурса наблюдения объекта

Из анализа данного графика следует, 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_{cp} . В основном данные ошибки при использовании этого метода являются незначительными.

Выводы

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.

В дальнейшем данную информацию необходимо использовать для компенсации влияния эффекта Фарадея на точность измерения элементов ПМР космических объектов.

Список литературы

1. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам / Е.Л. Казаков. – Одесса: Одес. ин-т управления и менеджмента, 1999. – 230 с.
2. Казаков Е.Л. Распознавание воздушных целей по некогерентному многочастотному сигналу с учетом поляризации в разных диапазонах длин волн / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП «Типография № 13», 2009. – 165 с.
3. Распознавание радиолокационных целей по сигнальной информации / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков, Д.Н. Рыжов, О.В. Коломийцев; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП «Міська друкарня», 2010. – 232 с.
4. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1972. – 463 с.
5. Канарейкин Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин. – М.: Сов. радио, 1966. – 440 с.
6. Характеристики рассеяния радиолокационных целей / [Казаков Е.Л., Бзот В.Б., Казаков А.Е. и др.]; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП «Типография № 13», 2006. – 185 с.

Поступила в редколлегию 24.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

КОМПЕНСАЦІЯ ВПЛИВУ ІОНОСФЕРИ НА ЕЛЕМЕНТИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ МАТРИЦІ РОЗСІЯННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ РОЗПОВСЮДЖЕННІ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ

Є.Л. Казаков, Д.Г. Васильєв

Розглянутий вплив іоносфери на елементи поляризаційної матриці розсіяння космічних об'єктів при розповсюдженні радіолокаційного сигналу. Запропоновані методи зменшення цього впливу і оцінені величини похибок визначення кута еліптичності при проходженні сигналу через іоносферу.

Ключові слова: радіолокаційний сигнал, поляризаційна матриця розсіяння.

INDEMNIFICATION OF INFLUENCE OF IONOSPHERE ON ELEMENTS OF POLARIZATION SCATTERING MATRIX OF SPACE OBJECTS AT DISTRIBUTION OF RADIOLOCATION SIGNAL

E.L. Kazakov, D.G. Vasiliev

Influence of ionosphere on the elements of polarization scattering matrix of space objects at distribution of radiolocation signal is considered. The methods of diminishing of this influence are offered and the sizes of errors of determination of ellipse corner at passing signal through an ionosphere are appraised.

Keywords: radiolocation signal, polarization scattering matrix.