

УДК 551.501.81+621.396.96

**К ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АФФИННОГО БАЗИСА
В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЯРИМЕТРАХ**

КОРБАН В.Х., КОРБАН Д.В., ДЕГТЯРЁВА Л.Н.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
ул. Кузнечная, 1, Одесса, 65029, Украина
l.demenko@ukr.net*

**ДО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АФІННОГО БАЗИСУ
В РАДІОЛОКАЦІЙНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПОЛЯРИМЕТРАХ**

КОРБАН В.Х., КОРБАН Д.В., ДЕГТЯРЬОВА Л.М.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
вул. Кузнечна, 1, Одеса, 65029, Україна
l.demenko@ukr.net*

**THE POSSIBILITY OF USE AFFINE BASIS
IN RADAR METEOROLOGICAL POLARIMETERS**

KORBAN V.CH., KORBAN D.V., DEGTYAROVA L.M.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications
Kuznechna st., 1, Odessa, 65029, Ukraine
l.demenko@ukr.net*

Аннотация. В статье сделан анализ использования аффинного базиса в метеорологических радиолокационных поляриметрах, позволяющего согласовать поляризацию эхо-сигнала метеорообъекта с поляризацией приёмной антенны. Это даёт возможность принять максимально возможную мощность эхо-сигнала.

Ключевые слова: аффинный базис, параметры Стокса, приёмная антенна, поляриметр, мощность эхо-сигнала, метеорообъект, частично поляризованная волна, матрица Мюллера.

Анотація. У статті зроблено аналіз використання афінного базису в метеорологічних радіолокаційних поляриметрах, який дозволяє узгодити поляризацию эхо-сигналу метеорооб'єкта з поляризацией приймальної антени. Це дає можливість прийняти максимально можливу потужність эхо-сигналу.

Ключові слова: афінний базис, параметри Стокса, приймальна антенна, поляриметр, потужність эхо-сигналу, метеорооб'єкт, частково поляризована хвиля, матриця Мюллера.

Abstract. The article makes an analysis of the use of an affine basis in meteorological radar polarimeters, which makes it possible to coordinate the polarization of the echo signal of a meteorological object with the polarization of the receiving antenna. This makes it possible to take the maximum possible power of the echo signal.

Key words: affine basis, the Stokes parameters, the receiving antenna, a polarimeter, the power of the echo signal, meteorological objects partially polarized wave, Mueller matrix.

Решение задач радиолокационного распознавания и селекции метеорологических объектов, с которыми связаны опасные явления погоды, осуществляются с использованием метеорологических радиолокаторов, которые используют накопленный тезаурус. Метеорологические радиолокаторы должны осуществлять обнаружение и анализ метеорологических объектов, определять их кинематические характеристики, такие как дальность, высоту верхней и нижней границы метеорообъекта, горизонтальную протяжённость, интенсивность процессов, азимут и угол места, скорость перемещения, обеспечивать выявление структуры и свойств метеорообъекта с требуемой для пользователя полнотой [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Антенны сетевых МРЛ взаимодействуют с каналом распространения электромагнитной волны через свою апертуру. Под апертурой антенны понимается статистическая или динамическая структура расположения элементов преобразователя пространственно-временных

характеристик электромагнитной волны в контролируемые сигналы в фидерах антенны с заданной совокупностью параметров элементов преобразователя. При этом в МРЛ используются зеркальные параболические антенны с рупорным облучателем в фокусе зеркала. Такие антенны формируют узкие и симметричные в обеих плоскостях диаграммы направленности, обеспечивающие получение высокой разрешающей способности по угловым координатам.

Облака и осадки представляют собой совокупность объектов, произвольно распределённых в некоторой области пространства. Законы отражения электромагнитных волн от частиц метеорологических объектов будут отличными для каждого метеобъекта. Характеристики эхо-сигналов зависят от условий радиолокационного наблюдения и параметров МРЛС.

Антенны МРЛ с поляризационной селекцией включают в антенно-волноводный тракт специальные элементы для преобразования поляризационных параметров излучаемых и принимаемых сигналов. В антеннах метеорологических поляриметров анализируемая волна разделяется на ортогональные линейно поляризованные составляющие, каждая из которых поступает в приёмное устройство (ортогональный базис). Причём двухканальный антенно-волноводный тракт состоит из волноводов прямоугольного сечения. Поляризация эхо-сигнала метеобъектов в большинстве случаев их радиолокационного обнаружения и распознавания не совпадает с поляризацией приёмной антенны. Поэтому возникает необходимость перехода от ортогонального базиса к аффинному, позволяющему на выходе приёмной антенны получить две компоненты принятой волны значительно большими по амплитуде, чем в ортогональном базисе, что и будет соответствовать поляризационному согласованию эхо-сигнала метеобъекта с поляризацией приёмной антенны.

Целью статьи является рассмотрение возможности использования аффинного базиса в метеорологических радиолокационных поляриметрах.

Известно [7], что в основе процесса радиолокационного наблюдения метеорологических объектов с помощью поляризационной РЛС лежит акт рассеяния электромагнитной волны облучающей объект. Процесс радиолокационного рассеяния сводится к исследованию взаимодействия электромагнитного поля облучающей волны с системой зарядов в облаке или зоне осадков и возбуждаемых этим полем токов. При решении задачи обнаружения и распознавания метеобъектов выделяются две части электромагнитного поля – излучающее $E_{\text{изл}}(R, t)$, $H_{\text{изл}}(R, t)$ и рассеянное или отражённое $E_{\text{отр}}(R, t)$, $H_{\text{отр}}(R, t)$. Отражённое поле возбуждает токи в объёме метеобъекта облучающей волной, которая сформирована на достаточно большом расстоянии от метеобъекта и может быть аппроксимирована полем бесконечно удалённого источника. Отражённое электромагнитное поле также оценивается на достаточно большом расстоянии от метеобъекта. С учётом этого излучаемое и отражённое поле в своей совокупности формируют полное электромагнитное поле, т.е.

$$E_{\text{полн}}(R, t) = E_{\text{изл}}(R, t) + E_{\text{отр}}(R, t), \quad (1)$$

$$H_{\text{полн}}(R, t) = H_{\text{изл}}(R, t) + H_{\text{отр}}(R, t), \quad (2)$$

где R — расстояние, км; t — время, с; E — напряжённость электрического поля, В/м; H — напряжённость магнитного поля, Гн/м.

Задача радиолокационного наблюдения за метеобъектом рассматривает нестационарные условия обратной теоремы единственности, при которых регистрация временной и поляризационной структур отражённой волны производится с одного определённого направления нахождения метеобъекта. Так как излучаемое поле представляет собой часть полного поля, то возникает необходимость в выделении из наблюдаемого поля той части, которая принадлежит отражённому от метеобъекта. Для этого из наблюдаемого поля $E_{\text{полн}}(R, t)$ вычитается излучаемое поле $E_{\text{изл}}(R, t)$, облучающее метеобъект, а при его отсутствии, воз-

буждаемое в пространстве. Поэтому за объектом образуется мощный тенеобразующий лепесток, где $E_{\text{полн}} \sim 0$, а $E_{\text{отр}} \sim E_{\text{изл}}$. При проведении анализа и синтеза поляризационного состояния отражённой от метеообъекта электромагнитной волны необходимо осуществлять разложение принятого эхо-сигнала метеообъекта по поляризационным каналам, задаваемым ортами e_1 и e_2 в соответствии с отдельным алгоритмом $[l_1, E(K, t)]$ и $[l_2, E(K, t)]$. Здесь K — волновой вектор, обозначающий соответствующее направление. Ортам поляризационного базиса в общем случае приёма эллиптически поляризованной волны, соответствуют ее эллипсы поляризации с геометрическими параметрами α_1, β_1 и α_2, β_2 . Отражённая от облаков и осадков электромагнитная волна является частично поляризованной из-за наличия пространственно-временной неоднородности внутренней структуры метеообъекта. К частично поляризованным эхо-сигналам можно также применить теорему Стокса, устанавливающую возможность разложения частично поляризованной волны с вектором Стокса $S(m)$ на сумму двух независимых потоков:

$$S(m=1) = [\sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}, S_2, S_3, S_4], \quad (3)$$

$$S(m=0) = [I_e - \sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}, 0, 0, 0], \quad (4)$$

где m - степень поляризации частично поляризованной волны.

Перейдя от вектора Стокса к параметрам Стокса, частично поляризованная волна, определяемая параметрами Стокса, разлагается на полностью поляризованную и полностью неполяризованную. Соответственно [8]

$$\{\sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}, Q, U, V\}, \quad (5)$$

$$\{I - \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}, 0, 0, 0\}, \quad (6)$$

где I, Q, U, V - параметры Стокса.

Общая интенсивность $I_{\text{общ}}$ выражается первым параметром Стокса I , интенсивность неполяризованной компоненты определяется

$$I_{\text{нп}} = I - \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}, \quad (7)$$

а интенсивность поляризованной компоненты волны равна:

$$I_{\text{п}} = I - I_{\text{нп}} = \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}. \quad (8)$$

Неполяризованная волна характеризуется отсутствием корреляции между ортогональными компонентами и равенством их дисперсий и может быть разложена на сумму двух независимых потоков, параметры Стокса которых удовлетворяют следующим условиям [7, 8, 9]

$$S'_2 + S''_2 = 0, \quad (9)$$

$$S'_3 + S''_3 = 0, \quad (10)$$

$$S'_4 + S''_4 = 0. \quad (11)$$

Из (9), (10) и (11) следует, что частично поляризованная волна представляется суммой трех полностью поляризованных волн с соответствующими параметрами Стокса. При облучении метеообъекта полностью неполяризованной волной ($m=0$), степень поляризации отражённой волны будет равна степени анизотропности метеообъекта

$$m_{\text{отр}} = m_{\text{а}}. \quad (12)$$

Использование ортогональных базисов при решении задачи селекции двух когерентных эхо-сигналов по их поляризационной структуре основаны на ортогональности поляризационных состояний принимаемых сигналов, отражённых от метеообъектов. При этом ис-

пользуется метеорологический радиолокационный поляриметр [10], у которого используются ортогональные каналы, соответствующие поляризационной структуре селективируемых эхосигналов. В одном ортогональном канале измеряется один из сигналов, в другом – ортогональный по поляризации. Выход двух ортогональных эхосигналов представлен параметрами Стокса. Если селективируемые эхосигналы метеорообъекта неортогональны по поляризации в смысле скалярного произведения (при ортогональности колебаний скалярное произведение равно нулю), то селекция эхосигналов нарушается, так как структура метеорологического поляриметра не синтезирована для селекции эхосигналов.

Использование аффинных поляризационных базисов с соответствующими преобразованиями эхосигналов в двух приёмных каналах метеорологического поляриметра позволяет синтезировать его структуру для селекции принимаемых эхосигналов. В этом случае орты базиса будут не ортогональны, т.е. $(e_1 \cdot e_2) \neq 0$ (рис. 1).

Аффинное разложение позволяет поляризационный базис выбрать так, что компоненты отражённой от метеорообъекта волны могут иметь наибольшее своё значение.

Для описания состояния волны необходимо в соответствии с [9] ввести комплексный коэффициент корреляции μ , равный

$$\mu = |\mu| e^{i\Phi_{xy}} = \frac{\overline{E_1 E_2^*}}{\sqrt{|E_1|^2 |E_2|^2}}, \quad (13)$$

где $|\mu|$ - степень когерентности.

При $\mu = 0$ волна полностью неполяризована, $\mu = 1$ — полностью поляризована. Для частично поляризованных эхосигналов метеорообъекта имеется поляризационный базис, в котором компоненты волны будут полностью некоррелированы. Матрица рассеяния позволяет сформировать алгоритм согласованного приёма рассеянных метеорообъектом поляризованных эхосигналов и ввести в рассмотрение характеристики приёмника МРЛ.

Матрица рассеяния полностью определяет рассеивающие свойства метеорообъекта. С помощью аффинных поляризационных базисов ортогональные поляризационные состояния эхосигналов метеорообъектов в поляризационных МРЛ можно перенести на их не ортогональный приём эхосигналов. Исходя из [7], будем называть базисы ортов и проекции на рис. 1 (б, в) ковариантными $e_1, e_2, E_1(t), E_2(t)$ и контравариантными $e^1, e^2, E^1(t), E^2(t)$ на рис. 1, г.

Коварианты e_1 и e_2 задаются как орты аффинного базиса, а сопряжённый контравариантный базис состоит из ортов $e^1 = -e_2$ и $e^2 = e_1^+$ ($e_1^+ \perp e_1$ и нормирован на единичную длину), удовлетворяющих условиям $e_i, e^j = \delta_{ij}$, где $i, j = 1, 2, 3$. К третьему орту $e_3 = e^3$ добавляется линейный орт, направление которого совпадает с направлением распространения электромагнитной волны, а δ_{ij} - символ Кронекера. В аффинном базисе $b^0(e_1, e_2) = [e_1, e_2]^T$ ковариантные компоненты эхосигнала $E(k, t)$ определяются следующим образом:

$$E[(k, t), e_1] = E_1(t), \quad (14)$$

$$E[(k, t), e_2] = E_2(t). \quad (15)$$

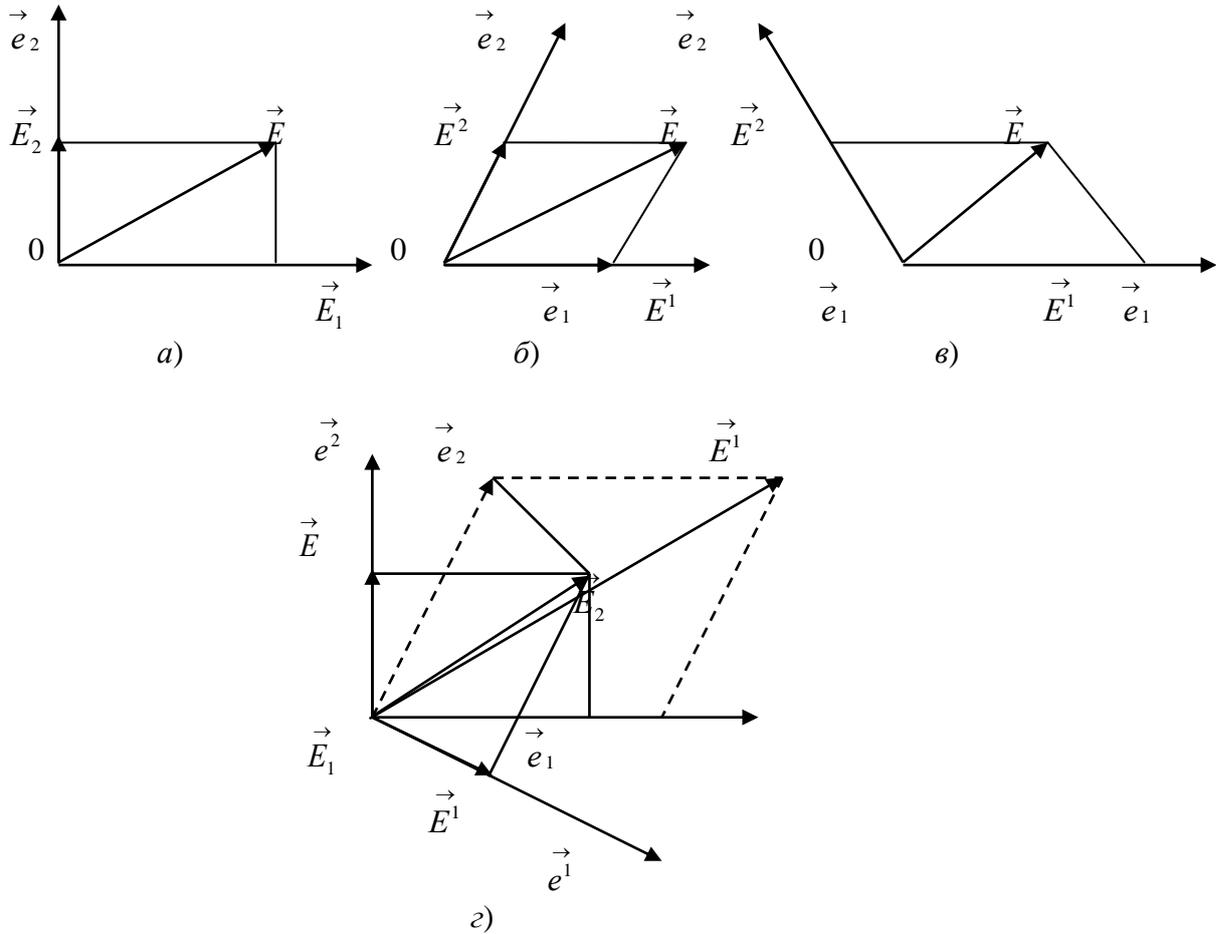


Рисунок 1 – Разложение электрического вектора принимаемой волны в ортогональном базисе (а) и аффинном не ортогональном (б, в, г)

Орты e_1 и e_2 определяют поляризацию приёмной антенны МРЛ, а $E_1(t)$ и $E_2(t)$ являются комплексными амплитудами эхо-сигналов на входе антенны с волной $E(k, t)$ и поэтому базис $[e_1, e_2]^T$ является базисом приёмной антенны радиолокационного метеорологического поляриметра.

Из рис. 1, г следует, что $E(k, t) \neq E_1(t)e_1 + E_2(t)e_2$ и непосредственное излучение электромагнитной волны определённой поляризации с комплексными амплитудами $E_1(t)$ и $E_2(t)$ через взаимную антенну метеорологического поляриметра сформулирует в пространстве поляризационное состояние волны, отличное от $E(k, t)$ [7]. Контрвариантные проекции $E^1(t) = [E(k, t), e^1]$ и $E^2(t) = [E(k, t), e^2]$ при излучении сформируют в пространстве волну той же поляризационной структуры, что и у $E(k, t)$ (рис.1,г), т.е.

$$E(k, t) = E^1(t)e_1 + E^2(t)e_2. \quad (16)$$

Ковариантные и контрвариантные проекции связаны следующими соотношениями:

$$E_1(t) = E^1(t) + E^2(t) \cdot (e_2, e_1), \quad (17)$$

$$E_2(t) = E^2(t) + E^1(t) \cdot (e_1, e_2), \quad (18)$$

$$E_1(t) = \frac{E^1(t) + E^2(t) \cdot (e_1, e_2)}{(1 - (e_1, e_2)) \cdot (e_1, e_2)}, \quad (19)$$

$$E_2(t) = \frac{E^2(t) + E^1(t) \cdot (e_2, e_1)}{(1 - (e_1, e_2)) \cdot (e_1, e_2)}. \quad (20)$$

Из (16) следует, что если один из ортов аффинного базиса совпадает по своим поляризационным характеристикам с анализируемой волной, то ее контрвариантная проекция по этому орту равна корню квадратному из мощности, т.е.

$$E^1(t) = \sqrt{(E(k, t), (E(k, t)))}. \quad (21)$$

Использование одной антенны на излучение и приём у метеорологического радиолокатора определяет условие однопозиционного наблюдения метеообъекта. Будем представлять поляризацию электромагнитной волны на излучение и приём с помощью вещественных обобщённых параметров Стокса S_0, S_1, S_2, S_3 , а их совокупность можно рассматривать как вектор-столбец или вектор Стокса и при разложении частично поляризованной волны в произвольном базисе записываются в виде [2]:

$$S_0 = |\overline{E_2(t)}|^2 + |\overline{E_1(t)}|^2, \quad (22)$$

$$S_1 = |\overline{E_2(t)}|^2 - |\overline{E_1(t)}|^2, \quad (23)$$

$$S_2 = 2 |\overline{E_1(t) E_2(t)}| \cos \Phi_{12}, \quad (24)$$

$$S_3 = 2 |\overline{E_1(t) E_2(t)}| \sin \Phi_{12}. \quad (25)$$

Переход от одного базиса к другому осуществляется в соответствии с линейным преобразованием [11]

$$\begin{bmatrix} S'_0 \\ S'_1 \\ S'_2 \\ S'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{24} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & e_{34} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & e_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}, \quad (26)$$

где $e_{11} = 1; e_{22} = \cos 2\alpha' \cos 2\alpha \cos 2(\beta' - \beta) + \sin 2\alpha' \sin 2\alpha; e_{33} = \cos 2(\beta' - \beta);$
 $e_{44} = \sin 2\alpha' \sin 2\alpha \cos 2(\beta' - \beta) + \cos 2\alpha' \cos 2\alpha; e_{12} = e_{13} = e_{14} = e_{21} = e_{31} = e_{41} = 0;$
 $e_{23} = \cos 2\alpha' \sin 2(\beta' - \beta); e_{24} = \cos 2\alpha' \sin 2\alpha \cos 2(\beta' - \beta) - \sin 2\alpha' \cos 2\alpha;$
 $e_{32} = -\cos 2\alpha \sin 2(\beta' - \beta); e_{34} = -\sin 2\alpha \sin 2(\beta' - \beta);$
 $e_{42} = \sin 2\alpha' \cos 2\alpha \cos 2(\beta' - \beta) - \cos 2\alpha' \sin 2\alpha, e_{43} = \sin 2\alpha' \sin 2(\beta' - \beta).$

Мощность, принимаемая антенной метеорологической РЛС зависит от ориентации антенны и поляризации падающего на неё частично поляризованного эхо-сигнала метеообъекта. Эффективность антенны МРЛ определяется углом поляризационной эффективности δ , который находится из соотношения

$$\delta = 2 \arccos \sqrt{\frac{P_{\text{пр}}}{m A P_0} + \frac{m - 1}{2m}}, \quad (27)$$

где $P_{\text{пр}}$ — мощность эхо-сигнала метеообъекта, поступающая на вход приёмный антенны МРЛ; A — апертура антенны; P_0 — плотность потока мощности эхо-сигнала; m — степень поляризации волны.

Антенна МРЛ будет принимать максимум мощности тогда, когда $\delta = 0$, т.е.

$$P_{\text{пр}} = A P_0 0,5(1 + m). \quad (28)$$

При однопозиционном радиолокационном наблюдении метеообъектов, направление облучения и рассеяния совпадают, поэтому соблюдается равенство базисов не только по их параметрам, но и по совпадению в пространстве. Связь между параметрами излучаемой волны, параметрами отражённой от метеообъекта волны и рассеивающими свойствами метеообъекта устанавливается следующей зависимостью:

$$\begin{bmatrix} S_0^{\text{опр}} \\ S_1^{\text{опр}} \\ S_2^{\text{опр}} \\ S_3^{\text{опр}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0^{\text{изл}} \\ S_1^{\text{изл}} \\ S_2^{\text{изл}} \\ S_3^{\text{изл}} \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Преобразование матрицы рассеяния метеообъекта с аффинным входным и выходным базисом соответствует переменной местами индексов при обозначении, тем самым отмечается контрвариантность базисов. Старые и новые контрвариантные базисы при аффинном преобразовании обозначаются $b_{\text{изл}}^{0\text{н}}, b_{\text{изл}}^{0\text{с}}, b_{\text{пр}}^{0\text{н}}, b_{\text{пр}}^{0\text{с}}$ [7], где н — новый базис, с — старый, изл — излучение, пр — приём.

Соответствующие формулы преобразования запишутся в виде:

$$E^{\text{пр}}(b_{\text{пр}}^{0\text{с}}) = T(b_{\text{пр}}^{0\text{с}}, b_{\text{изл}}^{0\text{с}})E^{\text{изл}}(b_{\text{изл}}^{0\text{с}}), \quad (30)$$

$$E^{\text{пр}}(b_{\text{с}}^{0\text{пр}}) = T(b_{\text{с}}^{0\text{пр}}, b_{\text{с}}^{0\text{изл}})E^{\text{изл}}(b_{\text{с}}^{0\text{изл}}), \quad (31)$$

$$E^{\text{пр}}(b_{\text{пр}}^{0\text{н}}) = T(b_{\text{пр}}^{0\text{н}}, b_{\text{изл}}^{0\text{н}})E^{\text{изл}}(b_{\text{изл}}^{0\text{с}}), \quad (32)$$

$$E^{\text{пр}}(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}) = T(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{н}}^{0\text{изл}})E^{\text{изл}}(b_{\text{н}}^{0\text{изл}}), \quad (33)$$

$$T(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{н}}^{0\text{изл}}) = S(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{с}}^{0\text{пр}})T(b_{\text{с}}^{0\text{пр}}, b_{\text{н}}^{0\text{изл}})S(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{с}}^{0\text{пр}})^{-1}, \quad (34)$$

$$T(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{н}}^{0\text{изл}}) = S(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{с}}^{0\text{пр}})T(b_{\text{с}}^{0\text{пр}}, b_{\text{н}}^{0\text{изл}})S(b_{\text{н}}^{0\text{пр}}, b_{\text{с}}^{0\text{пр}})^{-1}. \quad (35)$$

Каждой паре базисов $b^{0\text{изл}}$ и $b^{0\text{пр}}$, $b^{0\text{изл}}$ и $b_{\text{пр}}^0$, $b_{\text{изл}}^0$ и $b^{0\text{пр}}$, $b_{\text{изл}}^0$ и $b_{\text{пр}}^0$ соответствуют элементы матрицы рассеяния, имеющие определённые для указанных пар базисов значения.

Рассматривая переходы от «старых» базисов к «новым», получают новые значения этих элементов. Однако независимо от выбора поляризационного базиса рассматривается один и тот же физический процесс преобразования поляризационного состояния волны при ее рассеивании на метеообъекте.

С помощью матрицы рассеяния метеообъекта (29), называемой матрицей Мюллера, представляется возможность в аффинном базисе проанализировать проблему поляризационной селекции метеообъектов, заключающейся в таком выборе характеристик антенны МРЛ на передачу и приём, чтобы оптимизировать отношение мощностей эхо-сигналов от различных метеообъектов путём введения поляризационных характеристик антенны на прием и передачу, т.е. их эффективные высоты $h^{\text{пр}}$ и $h^{\text{изл}}$. Так как плотность энергии есть первый

параметр Стокса, тогда для полной мощности эхо-сигнала метеобъекта справедливо следующее соотношение:

$$P^{\text{пп}} = S_{\text{ппв}}^{\text{пп}} + S_{\text{ппб}}^{\text{пп}} = [m S_0, S_1, S_2, S_3] + [(1 - m) S_0, 0, 0, 0], \quad (36)$$

где ППВ – полностью поляризованная волна; ППБ – неполяризованная волна.

С учётом 50% эффективности приёмной антенны МРЛ полная мощность эхо-сигнала метеобъекта записывается в виде:

$$P^{\text{пп}} = m S_0 + 0,5(1 - m) S_0 = 0,5(1 + m) S_0, \quad (37)$$

где m — степень поляризации эхо-сигнала метеобъекта, а мощность ППВ взята 0,5 с учётом 50% эффективности антенны МРЛ при приёме.

Для эхо-сигнала метеобъекта можно оптимизировать следующие типы интенсивностей на входе приёмной антенны метеорологического радиолокационного поляриметра:

1. S_0 - полная интенсивность эхо-сигнала;
2. $m S_0$ - интенсивность компоненты ППВ;
3. $(1 - m) S_0$ - интенсивность компоненты ППБ;
4. $0,5(1 + m) S_0$ — максимально возможная принятая метеорологическим радиолокационным поляриметром мощность эхо-сигнала метеобъекта.

ЭПР $\sigma(K^{\text{изл}}, r, t)$ метеобъекта при фиксированных поляризациях на излучение и приём инвариантна к дальности наблюдения, излучаемой мощности, характеристик направленности антенны излучаемой волны и анализатора эхо-сигнала и зависит от поляризационных характеристик антенны, длины волны и др. Оценку ЭПР метеобъекта можно проводить по мощности принятого антенной эхо-сигнала, представленного параметрами Стокса:

$$\begin{bmatrix} S_0^{\text{опр}} \\ S_1^{\text{опр}} \\ S_2^{\text{опр}} \\ S_3^{\text{опр}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0^{\text{изл}} \\ S_1^{\text{изл}} \\ S_2^{\text{изл}} \\ S_3^{\text{изл}} \end{bmatrix}. \quad (38)$$

Измерение характеристик рассеяния метеобъекта можно выполнить в аффинном базисе при последовательном излучении радиолокационного сигнала четырёх фиксированных поляризаций и измерении элементов матрицы рассеяния.

Данный алгоритм измерения определяет и структуру метеорологического радиолокационного поляриметра, которая будет рассмотрена в дальнейших исследованиях.

ВЫВОДЫ

1 Проведён анализ возможности использования аффинного базиса в метеорологических радиолокационных поляриметрах.

2 Осуществление полного поляризационного приёма эхо-сигнала метеобъекта возможно только при аффинном базисе определённой структуры метеорологического радиолокационного поляриметра.

3 Поляризационная структура эхо-сигнала метеобъекта, определяемая через параметры Стокса на выходе приёмной системы МРЛ в аффинном базисе, несёт полную информацию о внутренней структуре метеобъекта, что позволяет осуществлять радиолокационный прогноз развития опасного явления погоды, так как облучающая волна входит вовнутрь метеобъекта и возбуждает в нем колебания и, прорезонировав, выходит из объекта.

4 Дальнейшие исследования будут направлены на перестройку антенной системы метеорологического радиолокационного поляриметра под аффинный базис эхо-сигнала метеобъекта.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 333 с.
- 2 Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности / Павлов Н.Ф. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 431 с.
- 3 Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии / Степаненко В.Д. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 342 с.
- 4 Баттан А. Дж. Радиолокационная метеорология / Баттан А. Дж. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 195 с.
- 5 Нелепец В.С. Радиолокационные методы метеорологических наблюдений / Нелепец В.С., Степаненко В.Д. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 174 с.
- 6 Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 229 с.
- 7 Авишев В.Б. Методы, используемые в узкополосной радиополяриметрии / [В.Б. Авишев, В.М. Бёрнер, С.А. Грошев, А.И. Козлов, В.А. Сарычев] // В кн. «Поляризация сигналов в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах. – СПб.: Хронограф, 1994. – С.342-417.
- 8 Поздняк С.И. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн / С.И. Поздняк, В.А. Мелитицкий. – М.: Советское радио, 1974. – 475 с.
- 9 Богородский В.В. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов / Богородский В.В., Канарейкин Д.Б., Козлов А.И. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 279 с.
- 10 Корбан В.Х. Поляризаційна селекція хмар і опадів / Корбан В.Х. – О.: Зовнішрекламсервіс, 2004. – 248 с.
- 11 Канарейкин Д.Б. Морская поляриметрия / Канарейкин Д.Б., Потехин В.А., Шишкин И.Ф. – Л.: Судостроение, 1968. – 327 с.

REFERENCES

- 1 Rukovodstvo po proizvodstvu nablyudeniy i primeneniyu informatsii s radiolokatorov MRL-1 i MRL-2. – L.: Gidrometeoizdat, 1974. – 333 s.
- 2 Pavlov N.F. Aerologiya, radiometeorologiya i tehnika bezopasnosti / Pavlov N.F. – L.: Gidrometeoizdat, 1980. – 431 s.
- 3 Stepanenko V.D. Radiolokatsiya v meteorologii / Stepanenko V.D. – L.: Gidrometeoizdat, 1973. – 342 s.
- 4 Battan A. Dzh. Radiolokatsionnaya meteorologiya / Battan A. Dzh. – L.: Gidrometeoizdat, 1962. – 195 s.
- 5 Nelepets V.S. Radiolokatsionnyie metodyi meteorologicheskikh nablyudeniy / Nelepets V.S., Stepanenko V.D. – L.: Gidrometeoizdat, 1961. – 174 s.
- 6 Rukovodstvo po primeneniyu radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6 v sisteme gradozaschityi. – L.: Gidrometeoizdat, 1980. – 229 s.
- 7 Avishev V.B. Metodyi, ispolzuemyie v uzkopolosnoy radiopolyarimetrii / [V.B. Avishev, V.M. BYorner, S.A. Groshev, A.I. Kozlov, V.A. Saryichev] // V kn. «Polyarizatsiya signalov v slozhnyih transportnyih radioelektronnyih kompleksah. – SPb.: Hronograf, 1994. – S.342-417.
- 8 Pozdnyak S.I. Vvedenie v statisticheskuyu teoriyu polyarizatsii radiovoln / S.I. Pozdnyak, V.A. Melititskiy. – M.: Sovetskoe radio, 1974. – 475 s.
- 9 Bogorodskiy V.V. Polyarizatsiya rasseyanogo i sobstvennogo radioizlucheniya zemnyih pokrovov / Bogorodskiy V.V., Kanareykin D.B., Kozlov A.I. – L.: Gidrometeoizdat, 1981. – 279 s.
- 10 Korban V.H. PolyarizatsIyna selektsIya hmar I opadIv / Korban V.H. – O.: ZovnIshreklamservIs, 2004. – 248 s.
- 11 Kanareykin D.B. Morskaya polyarimetriya / Kanareykin D.B., Potehin V.A., Shishkin I.F. – L.: Sudostroenie, 1968. – 327 s.