

Экспериментальная оценка информативности поляризационно-модулированных сигналов

Н.С. Акиншин, В.Л. Румянцев, О.Н. Акиншин

*АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»,
г. Тула, Россия*

nakinshin@yandex.ru

При разработке радиолокационных систем повышенной информативности целесообразно использовать поляризационно-модулированные сигналы. Это обеспечивает максимальное количество информации о поляризационных характеристиках радиолокационных объектов (РЛО); возможность эффективной поляризационной селекции объектов на фоне мешающих отражений, поглощающих покрытий и организованных помех; использование полной эффективной поверхности объекта, что особенно важно при обнаружении РЛО; возможность извлечения информации об их форме для распознавания, повышения помехоустойчивости радиолокационных станций; поляризационное усреднение угловых шумов протяженных РЛО; снижение стоимости системы (по сравнению с дорогостоящими системами построения портрета цели с помощью сверхкоротких импульсов либо многочастотных сигналов).

Цель работы – определение связи информативности параметров поляризационно-модулированных сигналов с достаточным количеством информации на основе обработки экспериментальных данных. Предложена методика оценки информативности поляризационных характеристик данных сигналов, отраженных от РЛО. На основе обработки экспериментальных данных выяснено, что уже двумерные поляризационные признаки составляют количество информации, превышающее достаточное. Наименее информативными являются структурные поляризационные признаки, связанные с эффективной поверхностью рассеяния цели. Однако некоторые из структурных признаков могут быть использованы для классификации РЛО, например коэффициент корреляции между ортогонально-поляризованными компонентами сигнала.

Достаточно высокую степень информативности имеет совокупность признаков: коэффициент деполяризации, коэффициент анизотропии и коэффициент асимметрии. Вероятность распознавания класса РЛО может быть существенно увеличена при возможности реализации накопления поляризационной информации.

Ключевые слова: поляризационные характеристики; признаки распознавания; информативность параметров.

Для цитирования: Акиншин Н.С., Румянцев В.Л., Акиншин О.Н. Экспериментальная оценка информативности поляризационно-модулированных сигналов // Изв. вузов. Электроника. – 2017. – Т. 22. – № 5. – С. 478–486. DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-5-478-486

Experimental Evaluation of Information Content of Polarization Parameters

N.S. Akinshin, V.L. Rumiantsev, O.N. Akinshin

JSC «Central design Bureau of Apparatus Engineering», Tula, Russia

nakinshin@yandex.ru

When developing the radar systems with high information content, it is advisable to use the polarization-modulated signals (PMS). This provides: the maximum amount of information about the polarization characteristics (PC) of the radar objects (RO), the possibility of affective polarization selection (PS) objects in the background of interfering reflections (IR), absorbing coatings and electronic jamming, the use of the total effective surface (TES) of the object, which is especially important in the detection polarization characteristics of the radar, the possibility of extracting information about the shape recognition, an increase of noise immunity of radiolocation stations, the polarized averaged angular noise extended RO, reducing system cost compared to expensive systems of the formation of the portrait targets with ultrashort pulses or multifrequency signals.

The relationship of information content of the parameters of the polarization-modulated signals PMS with the sufficient information on the basis of the experimental data processing has been determined. The technique for estimation of the information content of the polarization characteristics of the given signals, reflected from RO, has been proposed. Based on the experimental data processing it has been explained that already two-dimensional polarization features deliver the information amount in excess of the sufficient one. As a result, it has been found that the least informative polarization characteristics are the structural ones, connected with the target effective surface. However, some of the structural characteristics can be used to classify RO, for example, the coefficient of correlation between the orthogonal polarized components of the signal.

The most informative are the vector of coefficients and the depolarization vector («anisotropy factor», «coefficient of skewness»). The probability of recognition of RO class can be significantly increased in realization of the possibility of accumulation of the polarized information.

Keywords: polarization characteristics; signs of recognition; the information content of parameters.

For citation: Akinshin N.S., Rumiantsev V.L., Akinshin O.N. Experimental Evaluation of Information Content of Polarization Parameters // Proc. of Universities. Electronics. – 2017. – Vol. 22. – № 5. – P. 478–486. DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-5-478-486

Введение. Эффективность радиолокационного обнаружения объектов зависит от характеристик радиолокационной станции (РЛС), а также от радиолокационного контраста объектов, под которым, как правило, понимается отношение эффективных поверхностей рассеяния объекта и помехи, находящихся в одном элементе разрешения РЛС. Как для пространственно, так и для поверхностно распределенной помехи значение эффективной поверхности рассеяния помехи обратно пропорционально разре-

шающей способности РЛС. Следовательно, повышение радиолокационного контраста объектов связано с увеличением разрешающей способности РЛС. Одним из основных требований, предъявляемым к РЛС, является высокая разрешающая способность, которая определяет детальность формируемого радиолокационного изображения. Методы повышения разрешающей способности одноканальной по поляризации РЛС известны – это расширение полосы частот зондирующего сигнала и синтез апертуры антенны, которые имеют физические и технические пределы. В поляриметрических РЛС, осуществляющих измерение матрицы рассеяния для каждого из элементов разрешения, возможности повышения радиолокационного контраста возрастают за счет использования различий в поляризационных свойствах объектов и помех.

Перспективное направление при решении проблемы обнаружения малоконтрастных целей – применение методов поляризационной селекции. Основой для исследования таких методов являются результаты, полученные в работах [1–7]. Максимальное количество информации о поляризационных характеристиках (ПХ) радиолокационных объектов (РЛО) обеспечивает использование поляризационно-модулированных сигналов (ПМС). Это дает возможность применять эффективную поляризационную селекцию объектов на фоне мешающих отражений, поглощающих покрытий и организованных помех. Интерес представляет оценка информативности ПМС, поскольку выбор вида зондирующего сигнала, применение для обработки тех или иных ПХ определяют способ его формирования, обработки и в конечном счете эффективность поляризационной селекции РЛО на фоне мешающих отражений.

Определение связи информативности поляризационных признаков с минимально достаточной дивергенцией. Согласно [1] информативность совокупности параметров может быть выражена через отношение правдоподобия [2]. Из этого отношения, как показано в [3], следует мера различимости классов a_k и a_j , совпадающая с определением расхождения (дивергенции) Кульбака [1] и являющаяся удобной мерой информативности множества параметров сигнала:

$$I(k, j) = \int_{-\infty}^{\infty} (\rho(\bar{x}/a_k) - \rho(\bar{x}/a_j)) \ln \frac{P(a_k/\bar{x})}{P(a_j/\bar{x})} d\bar{x}. \quad (1)$$

Здесь $\rho(\bar{x}/a_k)$, $\rho(\bar{x}/a_j)$ – законы распределения параметра \bar{x} для классов a_k и a_j .

Указанные свойства позволяют использовать дивергенцию (1) для оценки относительной важности признаков, поскольку признаки, которым соответствует большее значение дивергенции, несут больше различающей информации. Выражение, полученное в [3], для смеси плотностей вероятностей N классов, за исключением a_k , имеет вид

$$\rho(\bar{x}/\bar{a}_k) = \frac{1}{1 - P(a_k)} \sum_{i \neq k=1}^N \rho(a_i, \bar{x}), \quad (2)$$

что удовлетворяет всем требованиям к распределениям вероятностей. Используя выражение (2), можно определить меру различимости класса a_k на фоне остальных классов:

$$J(k) = \int_{-\infty}^{\infty} [\rho(\bar{x}/a_k) - \rho(\bar{x}/\bar{a}_k)] \ln \frac{\rho(\bar{x}/a_k)}{\rho(\bar{x}/\bar{a}_k)} d\bar{x},$$

Тогда среднее значение $J(k)$, где $k = \overline{1, N}$, представляет меру различимости множества классов $\{A\}$ на совокупности параметров $\{\xi\}$ и определяется как

$$J(k) = \sum_{k=1}^N P(a_k) J_k, \quad (3)$$

где $P(a_k)$ – априорная вероятность появления k -го класса; J_k – мера различимости класса цели. Выражение (3) используется для сравнения информативности различных подмножеств из полной совокупности параметров сигнала.

В работе [2] определена связь информативности с достаточным количеством информации. Представляет практический интерес рассмотрение взаимосвязи достаточного количества информации с дивергенцией (3) и определение понятия минимально достаточной дивергенции (МДД). В [2] показано, что совокупность параметров является информативной для класса a_k относительно класса a_j , если $B_{k,j}(\vec{x}) < 1$. В соответствии с этим определением все выборочное пространство разбивается на три области: W_k – область принятия решения в пользу a_k ; W_j – область принятия решения в пользу a_j ; W^* – область неопределенности в смысле принятия решения в пользу класса из множества $\{A\}$, т. е. $W_k \cup W_j \cup W^* = R$.

Определим понятие локальной дивергенции как дивергенции на области W :

$$I(k, j, W) = \int_W [\rho(\vec{x}/a_k) - \rho(\vec{x}/a_j)] \ln \frac{P(a_k/\vec{x})}{P(a_j/\vec{x})} d\vec{x} - \int_W [\rho(\vec{x}/a_k) - \rho(\vec{x}/a_j)] \ln \frac{P(a_k)}{P(a_j)} d\vec{x}. \quad (4)$$

Если $W = W_k$, то $B_{k,j}(\vec{x}) \geq 1$, $B_{j,k}(\vec{x}) < 1$ и для всех $\vec{x} \in W_k$

$$\ln \frac{P(a_k/\vec{x})}{P(a_j/\vec{x})} - \ln \frac{P(a_k)}{P(a_j)} \geq 0.$$

Следовательно, $I(k, j, W_k) \geq 0$. Аналогично при $W = W_j$ $I(k, j, W_j) \geq 0$.

Таким образом, локальная дивергенция (4) всегда положительна, что соответствует общим свойствам понятия дивергенции.

В [2, 4] доказано, что совокупность параметров достаточно информативна, если $B_{k,j}(\vec{x}) \geq \theta_k$, а для недостаточно информативной совокупности параметров $B_{k,j}(\vec{x}) < \theta_k$. Пусть совокупность параметров $\{\vec{x}\}$ достаточно информативна в пользу класса a_k на интервале W_k . Определим порог достаточности дивергенции при $\theta_k = (1 - P(a_k))^2 / P(a_k)^2$; $k = \overline{1, N}$; $W_k \cup W_j \cup W^* = R$; $B_{k,j}(\vec{x}) = \theta_k$:

$$\begin{aligned} I(k, j, W_k) &= \int_{W_k} \rho(\vec{x}/a_k) \ln \frac{\rho(\vec{x}/a_k)}{\rho(\vec{x}/a_j)} d\vec{x} - \int_{W_k} \rho(\vec{x}/a_j) \ln \frac{\rho(\vec{x}/a_k)}{\rho(\vec{x}/a_j)} d\vec{x} = \\ &= \int_{W_k} \theta_k \rho(\vec{x}/a_j) - \rho(\vec{x}/a_j) \ln \theta_k d\vec{x} = (\theta_k - 1) \ln \theta_k \int_{W_k} \rho(\vec{x}/a_j) d\vec{x} = \\ &= (\theta_k - 1) \ln \theta_k \cdot P^-(a_k/a_j), \end{aligned}$$

где $P^-(a_k/a_j)$ – вероятность ошибки при принятии решения в пользу класса a_k при наличии сигнала от класса a_j , которая в случае $\rho(\vec{x}/a_j) = \rho(\vec{x}/a_k)$ характеризует полную вероятность ошибки при принятии решения в пользу класса a_k . Тогда величина

$$\hat{\theta}_k = (\theta_k - 1) \ln \theta_k = \left[\frac{(1 - P(a_k))^2}{P(a_k)^2} - 1 \right] \ln \frac{[(1 - P(a_k))]^2}{P(a_k)^2}$$

будет иметь смысл МДК для класса a_k на фоне остальных классов.

Предложенные понятия обобщенной и локальной дивергенции обеспечивают получение практически важного результата: порогового значения $\hat{\theta}_k$ – минимально достаточной дивергенции. Полученные выводы для систем достаточно информативных параметров относятся и к системам параметров сигнала, признанных достаточно информативными на основе критерия минимально достаточной дивергенции [2, 5–7].

Оценка информативности поляризационных признаков по результатам эксперимента. Рассмотрим решение задачи оценки информативности поляризационных признаков ПМС по критерию МДД [1–3]. Исследовано 11 поляризационных признаков ПМС на восьми ракурсах для восьми классов объектов: корабли ВМФ-071, ОС-220, ВТ-441, теплоходы серий «А. Грин», «Радуга», сейнер, малоразмерные надводные объекты – швартовочные бочки, а также морская поверхность. В зависимости от выбранного варианта построения поляриметрической РЛС в результате обработки экспериментальных данных может быть получена та или иная совокупность поляризационных признаков для распознавания классов обнаруженных объектов.

Для выявления информационных возможностей собственно поляризационных признаков для дальнейшего анализа отобраны три класса объектов: теплоходы «Радуга», «А. Грин» и морская поверхность как постоянно присутствующий объект наблюдения. «Радуга» и «А. Грин» являются теплоходами одного назначения, близкого водоизмещения (50 и 100 т соответственно), с близкими геометрическими размерами при различной конфигурации и имеют практически равную эффективную поверхность рассеяния почти на всех ракурсах. Таким образом, исследовалась информативность ПХ ПМС в условиях, при которых применение других признаков распознавания невозможно [2, 7]. Результаты расчета по экспериментальным данным представлены в табл.1.

В табл.1 приняты следующие обозначения для поляризационных признаков: $P0$ – общий размер объекта; $P1 = S_{HH} + S_{VV} + \sqrt{S_{HV} - S_{VH}}$; $P2 = S_{HV} - S_{VH}$ – фактор формы; $P3$ – полная мощность отражения на основных ортогонально-поляризованных компонентах; $P4 = |S_{HH}|/|S_{VV}|$ – коэффициент асимметрии цели; $P5 = S_{HV} / S_{HH}$, $P6 = S_{HV} / S_{VV}$ – коэффициенты деполаризации; $P7 = (\lambda_1 - \lambda_2) / (\lambda_1 + \lambda_2)$ – коэффициент анизотропии цели, где λ_1, λ_2 – собственные числа поляризационной матрицы рассеяния; $\Phi = S_{HH} + S_{VV} - \sqrt{S_{HV} - S_{VH}}$; в индексах HH, VV, HV – амплитуды основных и кроссовой компонент отраженного сигнала.

Параметры, непосредственно связанные с эффективной поверхностью рассеяния, в том числе структурные поляризационные признаки, не являются достаточно информативными. Порог МДД для трех классов объектов при равновероятной гипотезе их предъявления системе распознавания равен 4,15. Наиболее информативным поляризационным признаком является кросс-поляризационная ортогонально-поляризованная компонента ПМС (среднее значение обобщенной дивергенции 12,1). Относительные поляризационные признаки, за исключением коэффициента анизотропии, достаточно информативны. Недостаточная информативность анизотропии выясняется при анализе составляющих обобщенной дивергенции, приведенных в табл.2. По коэффициенту

Таблица 1

Результаты расчета обобщенной дивергенции для трех классов объектов

Table 1

Results of calculation of the generalized divergence 3 classes of objects

Ракурс	HH	HV	VV	$P0$	$P1$	$P2$	$P3$	$P4$	$P5$	$P6$	$P7$
A (нос)	2,41	13,0	5,15	1,23	1,35	1,55	1,71	5,45	5,41	4,55	2,95
B	2,65	11,0	5,30	1,65	1,18	0,66	1,91	6,72	4,27	4,56	2,42
C	4,86	12,9	3,75	1,46	2,41	1,20	1,78	7,34	5,59	5,42	3,11
D	4,72	11,7	4,62	1,38	1,22	1,26	1,92	6,51	4,62	4,71	2,68
E	5,01	12,8	6,51	1,49	2,36	1,52	1,16	5,13	5,47	5,96	3,20
F	4,87	11,6	4,14	1,32	1,42	0,96	1,66	5,31	6,28	5,53	3,12
G	4,35	12,5	3,27	1,55	2,52	1,33	1,35	7,30	5,07	5,48	3,17
H (корма)	3,32	11,3	4,61	1,29	1,74	0,91	1,84	6,62	4,99	4,77	2,71

Таблица 2

Локальные дивергенции коэффициента анизотропии для трех классов объектов

Table 2

Local divergence of the coefficient of anisotropy for 3 classes of objects

Ракурс	Класс объекта			Средняя дивергенция
	Теплоход «А.Грин»	Теплоход «Радуга»	Морская поверхность	
A (нос)	2,12	2,06	4,67	2,95
B	2,03	0,92	4,31	2,42
C	2,07	1,97	5,29	3,11
D	2,30	1,33	4,41	2,68
E (корма)	2,48	1,41	7,71	3,20

анизотропии морская поверхность существенно (и достаточно с точки зрения критерия МДД) отличается от надводных объектов, которые по данному поляризационному признаку практически неразличимы. Обобщенная дивергенция ПХ составляет 3,71 (H -поляризация) и 2,12 (V -поляризация), что ниже порога минимальной достаточности. В случае использования в РЛС распознавания систем параллельной совместной обработки поляризационной информации учитывается не только плотность распределения вероятностей отдельных поляризационных признаков, но и их корреляционные связи.

Исследовались системы зависимых поляризационных признаков, сформированных в соответствии с результатами статистического анализа, для четырех классов объектов на пяти ракурсах. Указанное множество классов объектов дополнено классом малоразмерных объектов (швартовочные бочки и т.п.). Пороговое значение МДД четырех классов объектов составляет 17,57. Результаты расчета обобщенной дивергенции представлены в табл.3, из которых следует, что уже двумерные поляризационные признаки поставляют количество информации, превышающее минимально достаточное. Наименее информативными по-прежнему являются структурные поляризационные признаки, связанные с эффективной поверхностью рассеяния объекта ($P0$, $P1$), что является усло-

вием эксперимента. Векторный структурный признак «фактор формы», «эффективная поверхность рассеяния на основных ортогонально-поляризационных компонентах») также малоинформативен, хотя его информативность несколько выше (P_0 , P_1). Наиболее информативными являются коэффициент деполяризации, коэффициент анизотропии и коэффициент асимметрии. Достаточно высокую информативность обеспечивает вектор основных ортогонально-поляризованных компонент дуальных ПМС.

Таблица 3

**Обобщенная дивергенция четырех классов объектов
для векторных поляризационных признаков**

Table 3

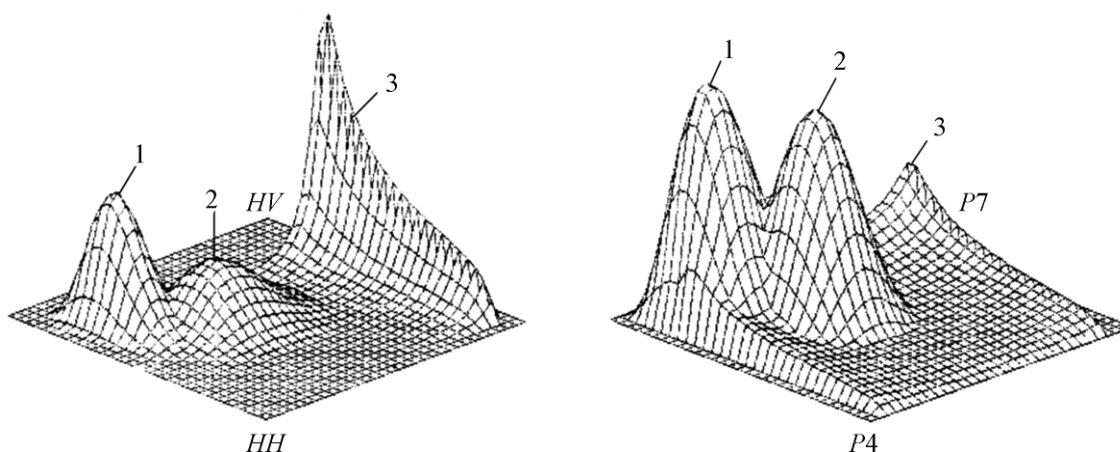
**Generalized divergence of a 4-object classes
for the vector polarization characteristics**

Ракурс	HH, HV	VY, VV	P_0, P_1	P_2, P_3	P_4, P_7	P_5, P_6	HH, VV	HH, HV, VV
A (нос)	38,9	41,1	24,2	33,2	43,6	57,0	37,2	69,3
B	34,2	68,3	28,2	32,4	49,5	50,9	41,3	88,7
C	48,3	53,1	21,3	3,1	38,7	51,3	44,9	86,8
D	24,9	38,5	18,9	31,4	54,2	54,9	47,0	59,9
E (корма)	37,2	40,3	21,6	39,4	46,0	51,8	45,2	68,1
Среднее значе- ние	36,7	48,3	22,8	33,3	46,4	53,2	43,1	74,60

Результаты аппроксимации одномерных гистограмм ПХ ПМС, отраженных от различных надводных объектов и морской поверхности, а также результаты анализа корреляционных связей ПХ ПМС, обеспечили построение векторных моделей ПХ ПМС. Векторные статистические модели проверялись на адекватность путем оценки вероятности ошибки различения реальных объектов. Практически для всех построенных плотностей распределения вероятностей вероятность ошибки различения двух классов объектов превышала значение 0,45, что подтверждает адекватность построенных моделей. На рисунке приведены двумерные плотности распределения вероятностей поляризационных признаков РЛО и морской поверхности, построенные в результате статистического анализа экспериментальных данных (признаки HH , HV и P_4 , P_7). В полном объеме полученные результаты использовались на этапе исследования информативности векторных поляризационных признаков РЛО.

Помимо двумерных поляризационных признаков в табл.3 представлены результаты оценки информативности трехмерного вектора (HH , HV , VV). Совместное измерение амплитуд всех ортогонально-поляризованных компонент ПМС обеспечивает использование всей энергии ПМС и поступление максимально возможного (без измерения фаз ортогонально-поляризованных компонент) количества информации от объекта.

Необходимо отметить, что рост дивергенции при переходе от двумерного к трехмерному признаковому пространству не является пропорциональным в связи с коррелированностью компонент данных векторов. Тем не менее трехмерное признаковое пространство обеспечивает значительное повышение информативности сигнала. Экспериментальные измерения позволили провести оценку информативности поляризационных признаков по критерию МДД.



Двумерные статистические модели ПХ ПМС: 1 – теплоход «А. Грин»; 2 – теплоход «Радуга»; 3 – морская поверхность

Two-dimensional statistical model PC PMS of the two radar objects and the sea surface:
1 – ship «A. Grin»; 2 – ship «Raduga»; 3 – sea surface

Заклучение. На основе экспериментальных данных установлено, что уже двумерные поляризационные признаки поставляют количество информации, превышающее достаточное. Наименее информативными являются структурные поляризационные признаки, связанные с эффективной поверхностью рассеяния цели.

Отметим, что некоторые из структурных признаков могут быть использованы для классификации надводных объектов, например коэффициент корреляции между ортогонально-поляризованными компонентами сигнала. Наиболее информативны коэффициент деполяризации, коэффициент анизотропии, коэффициент асимметрии. Вероятность распознавания класса надводных объектов может быть существенно увеличена при возможности реализации накопления поляризационной информации.

Литература

1. *Кульбак С.* Теория информации и статистика. – М.: Наука, 1968. – 302 с.
2. *Фукунга К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
3. *Акиншин О.Н., Румянцев В.Л., Хомяков К.А.* Оценка информативности поляризационных параметров поляризационно-модулированных сигналов // Электронные и информационные системы. – 2015. – №2(5). – С. 35–43.
4. *Косенко Г.Г.* Критерии информативности при различении сигналов. – М.: Радио и связь, 1982. – 216 с.
5. *Huynen J.R.* Phenomenological theory of radar targets: Ph.D dissertation. – Rotterdam, The Netherland, Drukkeij Bronder Offset, N.V., 1970. – 112 p.
6. *Poelman A., Guy J.K.* Polarization Information Utilization in Primary Radar.Fn Intriduction and Update to Activities an SHARE TechnicalCentre. Inverse methods in Electromagnetic Imaging. – Bad windsheim. – 1985. – 173 p.
7. *Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А.* Поляризация радиоволн (Радиолокационная поляриметрия). – М.: Радиотехника, 2007. – 638 с.

Поступила 07.04.2017 г.; принята к публикации 13.06.2017 г.

Акиншин Николай Степанович – доктор технических наук, профессор, начальник отдела АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (Россия, 300034, г. Тула, ул. Демонстрации, д. 36), nakinshin@yandex.ru

Румянцев Владимир Львович – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника отдела АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (Россия, 300034, г. Тула, ул. Демонстрации, д. 36), vlroom@yandex.ru

Акиншин Олег Николаевич – кандидат технических наук, начальник отдела АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (Россия, 300034, г. Тула, ул. Демонстрации, д. 36), nakinshin@yandex.ru

References

1. Kul'bak S. *Teoriya informacii i statistika* [Information theory and statistics]. Moscow, Nauka, 1968. 302 p. (in Russian).
2. Fukunga K. *Vvedenie v statisticheskuyu teoriyu raspoznavaniya obrazov* [Introduction to statistical pattern recognition theory]. Moscow, Nauka, 1979. 368 p. (in Russian).
3. Akinshin O.N., Rumyantsev V.L., Nomyakov K.A. Ocenka informativnosti polarizacionnyh parametrov polarizacionno-modulirovannyh signalov [Evaluation of informativeness in larization parameters of the polarization-modulated signals]. *Elektronnye i informacionnye sistemy – Electronics and information systems*, 2015, no. 2(5), pp. 35–43. (in Russian).
4. Kosenko G.G. *Kriterii informativnosti pri razlichenii signalov* [Criteria of informativeness under the discernment of the signals]. Moscow, Radio i svyaz', 1982. 216 p. (in Russian).
5. Huynen J.R. *Phenomenological theory of radar targets*. Ph. D. dissertation, Rotterdam, The Netherland, Drukkeij Bronder Offset, N.V. 1970. – 112 p.
6. Poelman A., Guy J.K. *Polarization Information Utilization in Primary Radar. In: Introduction and Update to Activities an SHARE Technical Centre. Inverse methods in Electromagnetic Imaging*. Bad windsheim, 1985.
7. Kozlov A.I., Logvin A. I., Sarychev V. A. *Polyarizaciya radiovoln (Radiolokacionnaya polyarimetriya)*. Moscow, Radiotekhnika, 2007. 638 p. (in Russian).

Submitted 07.04.2017; accepted 13.06.2017.

Akinshin Nikolai S. – Doctor of technical sciences, professor, head of department, JSC «Central design Bureau of Apparatus Engineering» (Russia, 300034, Tula, Demonstratsii st., 36), nakinshin@yandex.ru

Rumyantsev Vladimir L. – Doctor of technical sciences, professor, deputy head of Department, JSC «Central design Bureau of Apparatus Engineering» (Russia, 300034, Tula, Demonstratsii st., 36), vlroom@yandex.ru

Akinshin Oleg N. – PhD of technical sciences, head of Department, JSC «Central design Bureau of Apparatus Engineering» (Russia, 300034, Tula, Demonstratsii st., 36), nakinshin@yandex.ru