

## РАДИОТЕХНИКА, РАДИОЛОКАЦИЯ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

УДК 621.391.8; ГРНТИ 47.05.17

### ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА НА ФОНЕ КОМПЛЕКСА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПОМЕХ

**Ю. Н. Паршин**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой РТУ РГРТУ, Рязань, Россия;  
[orcid.org/0000-0003-0061-7804](http://orcid.org/0000-0003-0061-7804), e-mail: [parshin.y.n@rsreu.ru](mailto:parshin.y.n@rsreu.ru)

**Н. А. Шашин**, аспирант РГРТУ, Рязань, Россия;  
[orcid.org/0009-0002-5349-9629](http://orcid.org/0009-0002-5349-9629), e-mail: [nshashin@yandex.ru](mailto:nshashin@yandex.ru)

*Рассматривается возможность использования поляризационных характеристик при выполнении задач подавления помех. Проводится анализ поляризационных характеристик, их влияния на отношение сигнал-помеха. Рассмотрено взаимовлияние коэффициентов эллиптичности сигнала и помехи, угла пространственной ориентации осей эллипсов сигнала и помехи и направления вращения вектора напряженности электрического поля при выполнении задач поляризационной селекции. Построены графики зависимостей отношения сигнал-помеха от поляризационных характеристик. Показана возможность использования поляризационных характеристик принятых сигналов для селекции при выполнении задач подавления помех. Определен диапазон изменения значений поляризационных характеристик для наиболее эффективной селекции, а также имеющей наименьшее влияние на отношение сигнал-помеха.*

**Ключевые слова:** поляризационная селекция, поляризационные характеристики, коэффициент эллиптичности, поляризационный коэффициент, отношение сигнал-помеха, угол пространственной ориентации эллипса поляризации.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2025-94-3-12

#### Введение

В настоящее время работа радиотехнических систем характеризуется воздействием различных источников мешающих сигналов различного происхождения. Источники помеховых сигналов по своей природе бывают как естественного, так и искусственного происхождения, параметры помех, как правило, неизвестны. В данных условиях прием радиосигналов и выделение информации, содержащейся в амплитуде, частоте, задержке по времени, могут быть затруднены. Известны и широко применяются методы селекции сигнала на фоне помех с использованием различных признаков: временных или частотных. Большином возможностями повышения помехоустойчивости радиосистем обладает пространственная обработка сигналов, учитывающая различия в направлениях прихода сигнала и помех. В работе [1] показано, что даже при использовании малоэлементной антенной решетки возможно получить заметный выигрыш в отношении сигнал-помеха. Если действует комплекс помех, отличающихся по своим пространственным и спектральным характеристикам, то для их подавления используется комплексированный компенсатор помех [2]. Пространственная обработка эффективна также при подавлении многолучевых помех [3].

Дополнительные возможности дает использование информации о поляризационных характеристиках сигнала и помех, которые определяются поляризационными характеристиками антенн. Учет поляризационных характеристик среды распространения при обработке сигналов также влияет на возможности селекции сигнала и помех. При отсутствии априорных сведений поляризационные свойства могут быть получены из измеренных значений принимаемых радиосигналов, излученных и принятых на двух ортогональных поляризаци-

ях [4]. Для наиболее полного использования поляризационных свойств сигнала и помех необходимо решить следующие задачи:

– организовать излучение и прием сигналов на ортогональных поляризациях, например, горизонтальной и вертикальной;

– иметь возможность различать компоненты поляризационного базиса излученной и принятых радиоволн для дальнейшей интерпретации измеренных значений.

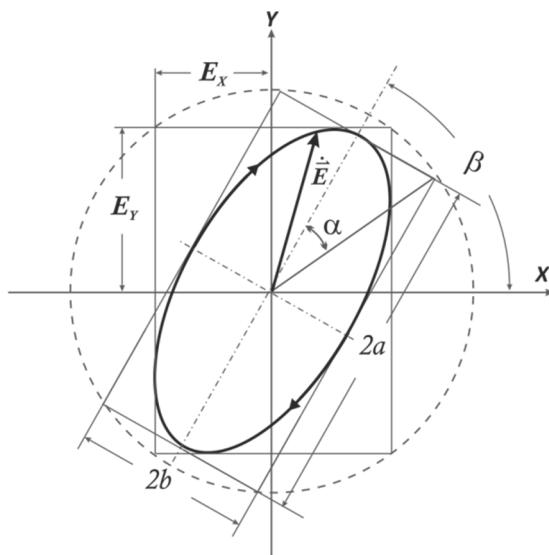
Способ формирования, излучения и приема пар ортогонально поляризованных сигналов определяет подходы к проектированию поляризационной радиотехнической системы, в том числе двухканальной радиосистемы, работающей на прием и на передачу, режимов ее работы, временной диаграммы [5]. Кроме того, одним из главных потенциальных преимуществ радиосистемы с полным поляризационным приемом по сравнению с приемом на одной линейной поляризации является ее высокая помехоустойчивость. В этом случае радиосистема должна иметь в своем составе технические средства поляризационной селекции, позволяющие выявить различия поляризационных характеристик полезного и мешающих сигналов, активных помех или мешающих отражений.

Исследованию поляризационных характеристик сигналов и используемому математическому аппарату их представления посвящены работы [6-8]. Определение эффективности их дальнейшего практического применения для задач обнаружения объектов и подавления помех возможно после изучения особенностей поляризационных характеристик и их взаимозависимости.

**Целью работы является** повышение помехоустойчивости радиосистем путем оптимизации поляризационной обработки сигналов при известных поляризационных характеристиках сигнала и помех.

### Постановка задачи

Для линейной изотропной среды распространения электромагнитной волны (ЭМВ) поляризация характеризуется проекцией кривой, описываемой за период несущего колебания концом вектора напряженности электрического поля  $E$  (далее – вектор  $E$ ), на плоскость, перпендикулярную к направлению распространения волны (рисунок 1). Как правило, рассматривают кривую в виде эллипса и ее частные случаи – линейную и круговую поляризации.



**Рисунок 1 – Эллипс поляризации электромагнитной волны**  
**Figure 1 – Polarization ellipse of electromagnetic wave**

При линейной поляризации пространственная ориентация вектора  $E$  не изменяется во времени, а поляризационная диаграмма представляет собой прямую линию. При круговой поляризации вектор  $E$  имеет постоянную амплитуду и вращается с постоянной угловой ско-

ростью вокруг направления распространения волны, определяемой периодом колебаний ЭМВ. В общем случае модуль вектора  $E$  эллиптически поляризованной ЭМВ и его угловое положение изменяются во времени за период вращения.

Основными параметрами поляризационного эллипса ЭМВ являются:

– коэффициент эллиптичности

$$k_{\mathcal{E}C} = b / a \leq 1; \quad (1)$$

– угол эллиптичности, равный половине угла между диагоналями прямоугольника, в который вписан эллипс поляризации

$$\alpha = \operatorname{arctg} k_{\mathcal{E}C}; \quad (2)$$

– угол пространственной ориентации эллипса поляризации, определяемый значением угла  $\beta$ , образованного осью ОХ и большой осью эллипса поляризации ЭМВ.

Значение угла эллиптичности  $\alpha$  (2) определяет однозначно форму эллипса. В зависимости от направления вращения вектора  $E$  различают правое вращение – по часовой стрелке и левое вращение – против часовой стрелки.

Поляризационная селекция основана на выделении отличительных признаков в поляризационной структуре принятых сигналов и помех и согласовании с поляризационными параметрами антенн. Оптимизацией указанных параметров можно добиться существенного ослабления воздействия помех и улучшения характеристик радиосистемы в целом.

Если поляризации антенны и помехи линейны и ортогональны или будут иметь противоположное вращение вектора  $E$  для круговой поляризации либо сдвинутое на  $\pi/2$  положение осей эллипса поляризации для эллиптически поляризованной волны, то подавление помехи максимально. Поскольку поляризационные характеристики сигнала могут не совпадать с поляризационными характеристиками помехи, то помеху можно ослабить сильнее, чем сигнал [9], увеличив тем самым отношение сигнал-помеха. Например, помехи с круговой или линейной поляризацией с углом пространственной ориентации эллипса поляризации  $45^\circ$  воздействуют на радиосистему с любой линейной поляризацией – горизонтальной или вертикальной [10]. При этом, предусмотрев раздельный поканальный прием, подобные помехи могут быть скомпенсированы за счет взаимной корреляции ее поляризационных вертикальной и горизонтальной составляющих.

Приемопередающий антенно-фидерный тракт является поляризационным селектором, так как его поляризационная диаграмма направленности остается одинаковой и на прием и на передачу, причем наилучшим образом принимаются волны той поляризации, которой характеризуется излучаемая ЭМВ.

Согласование поляризационных параметров принимаемого сигнала и приемной антенны влияет на мощность, выделяемую в нагрузке антенны. Потери мощности принимаемой ЭМВ произвольной поляризации оцениваются поляризационным коэффициентом  $\gamma_{\Pi}$ , который представляет собой отношение мощности сигнала, поступающего на вход приемника, к максимальному значению его входной мощности при согласовании поляризационных характеристик принимаемого сигнала и приемной антенны [8, 9]:

$$\gamma_C = \frac{1}{2} \left( 1 \pm \frac{4k_{\mathcal{E}C}k_{\mathcal{E}A} + (1 - k_{\mathcal{E}C}^2)(1 - k_{\mathcal{E}A}^2) \cos 2(\varphi_C - \varphi_A)}{(1 + k_{\mathcal{E}C}^2)(1 + k_{\mathcal{E}A}^2)} \right), \quad (3)$$

где  $k_{\mathcal{E}A}$  – коэффициент эллиптичности антенны;  $k_{\mathcal{E}C}$  – коэффициент эллиптичности принимаемого сигнала;  $\varphi_C - \varphi_A$  – угол между большими осями эллипсов поляризации антенны и принимаемого сигнала. Знак «+» соответствует одинаковому вращению поляризации принимаемого сигнала и поляризации антенны, а знак «-» соответствует противоположному их значению.

При согласовании антенны с поляризационной структурой принимаемой ЭМВ  $\gamma_C = 1$ , а при ортогональном расположении осей эллипсов принимаемого сигнала и антенны или при противоположном вращении векторов  $E$  имеем полное подавление принимаемого сигнала  $\gamma_C = 0$ . Для эллиптически поляризованных волн и при согласовании поляризационных па-

метров антенн с поляризационными параметрами принимаемого сигнала  $k_{\mathcal{E}C} = k_{\mathcal{E}A}$ ,  $\Phi_C - \Phi_A = 0$  можно за счет поляризационных различий сигнала и помехи повысить отношение сигнал-помеха на выходе антенны по сравнению с их отношением на входе. Отношение мощностей сигнала и помехи на выходе поляризационного селектора при условии равенства мощностей помехи и сигнала в раскрытии антенны  $P_{C_{\text{вх}}} = P_{\Pi_{\text{вх}}}$  равно

$$q = \frac{P_{C_{\text{вых}}}}{P_{\Pi_{\text{вых}}}} = \frac{1}{\gamma_{\Pi}}, \quad (4)$$

где  $\gamma_{\Pi}$  – поляризационный коэффициент помехи, рассчитываемый по формуле (3).

Результаты расчетов по формуле (4), приведенные в работе [11], показали, что существует экстремум, максимум зависимостей отношения сигнала-помеха от коэффициентов эллиптичности  $k_{\mathcal{E}\Pi}$  и  $k_{\mathcal{E}C}$  и угла ориентации эллипса поляризации помехи  $\Phi_{\Pi}$ , что свидетельствует о возможности оптимизации поляризационной обработки. Установлено также, что чем ближе значения  $k_{\mathcal{E}\Pi}$  и  $k_{\mathcal{E}C}$  к единице, тем меньше отношение сигнала-помеха, а при угле  $\Phi_{\Pi} - \Phi_A = 0$  и равенстве коэффициентов эллиптичности  $q$  принимает минимальные значения. При противоположном направлении вращения векторов  $E$  и угле  $\Phi_{\Pi} - \Phi_A = 0$  рост  $q$  наблюдается при одновременном увеличении коэффициентов  $k_{\mathcal{E}\Pi}$  и  $k_{\mathcal{E}C}$ , причем при приближении их значений к единице отношение сигнала-помеха увеличивается значительно. При одинаковом вращении векторов селекция наиболее эффективна при небольших значениях  $k_{\mathcal{E}\Pi}$  и  $k_{\mathcal{E}C}$  и растет с увеличением  $\Phi_{\Pi} - \Phi_A$ .

Рассмотрим более общий случай, когда поляризационные параметры антенны не совпадают с соответствующими параметрами сигнала и могут быть оптимизированы для достижения максимума отношения сигнала-помеха. В этом случае отношение сигнала-помеха на выходе поляризационного селектора принимает следующий вид:

$$q = \frac{P_{C_{\text{вых}}}}{P_{\Pi_{\text{вых}}}} = \frac{P_{C_{\text{вх}}}}{P_{\Pi_{\text{вх}}}} \times \frac{\gamma_{\Pi C}}{\gamma_{\Pi \Pi}} = q_{\text{вх}} \frac{\gamma_{\Pi C}}{\gamma_{\Pi \Pi}}, \quad (5)$$

где  $q_{\text{вх}}$  – отношение сигнала-помеха на входе;  $\gamma_{\Pi C}$  и  $\gamma_{\Pi \Pi}$  – поляризационные коэффициенты сигнала и помехи соответственно, получаемые из выражения (3):

$$\gamma_{\Pi C} = \frac{1}{2} \left( 1 \pm \frac{4k_{\mathcal{E}C}k_{\mathcal{E}A} + (1 - k_{\mathcal{E}C}^2)(1 - k_{\mathcal{E}A}^2) \cos 2(\Phi_C - \Phi_A)}{(1 + k_{\mathcal{E}C}^2)(1 + k_{\mathcal{E}A}^2)} \right); \quad (6)$$

$$\gamma_{\Pi \Pi} = \frac{1}{2} \left( 1 \pm \frac{4k_{\mathcal{E}\Pi}k_{\mathcal{E}A} + (1 - k_{\mathcal{E}\Pi}^2)(1 - k_{\mathcal{E}A}^2) \cos 2(\Phi_{\Pi} - \Phi_A)}{(1 + k_{\mathcal{E}\Pi}^2)(1 + k_{\mathcal{E}A}^2)} \right), \quad (7)$$

где  $k_{\mathcal{E}A}$  – коэффициент эллиптичности антенны;  $k_{\mathcal{E}C}$  – коэффициент эллиптичности принимаемого сигнала;  $k_{\mathcal{E}\Pi}$  – коэффициент эллиптичности помехи;  $\Phi_A$ ,  $\Phi_C$ ,  $\Phi_{\Pi}$  – углы пространственной ориентации эллипсов поляризации, образованные осью ОХ и большими осями эллипсов антенны, принимаемого сигнала и помехи соответственно.

В частном случае при условии равенства мощностей помехи и сигнала в раскрытии антенны отношение сигнала-помеха (5) с использованием (6), (7) равно:

$$q = \frac{P_{C_{\text{вых}}}}{P_{\Pi_{\text{вых}}}} = \frac{\gamma_{\Pi C}}{\gamma_{\Pi \Pi}}. \quad (8)$$

Полученные выражения показывают зависимость эффективности обработки от взаимной пространственной ориентации эллипсов поляризации, что позволяет сформулировать задачу оптимальной поляризационной обработки. Задача оптимизации поляризационной обработки заключается в нахождении оптимального значения угла пространственной ориентации  $\Phi_A$  эллипса антенны, при котором выходное отношение сигнала-помеха (8) максимально:

$$\varphi_{\text{АОПТ}} = \arg \max_{\varphi_A} q(\varphi_A), \quad q_{\max} = q(\varphi_{\text{АОПТ}}). \quad (9)$$

Решение задачи оптимизации проводилось численным методом Нелдера – Мида с помощью программы-функции MatLab. По результатам расчетов были построены графики (рисунки 2, 3) зависимостей оптимального угла эллипса поляризации антенны  $\varphi_{\text{АОПТ}}$  и максимума отношения сигнал-помеха  $q_{\max}$  (9) от угла пространственной ориентации принятого сигнала при различных значениях коэффициентов эллиптичности  $k_{\text{ЭП}}$  и  $k_{\text{ЭС}}$  при одинаковом и противоположном направлениях вращения векторов напряженности ЭМВ сигнала и помехи относительно антенны. Утолщенной линией здесь и далее на графиках изображены зависимости изменения максимума отношения сигнал-помеха от  $\varphi_C$ . Тонкой линией изображены зависимости оптимального угла ориентации эллипса поляризации антенны от угла ориентации эллипса поляризации сигнала.

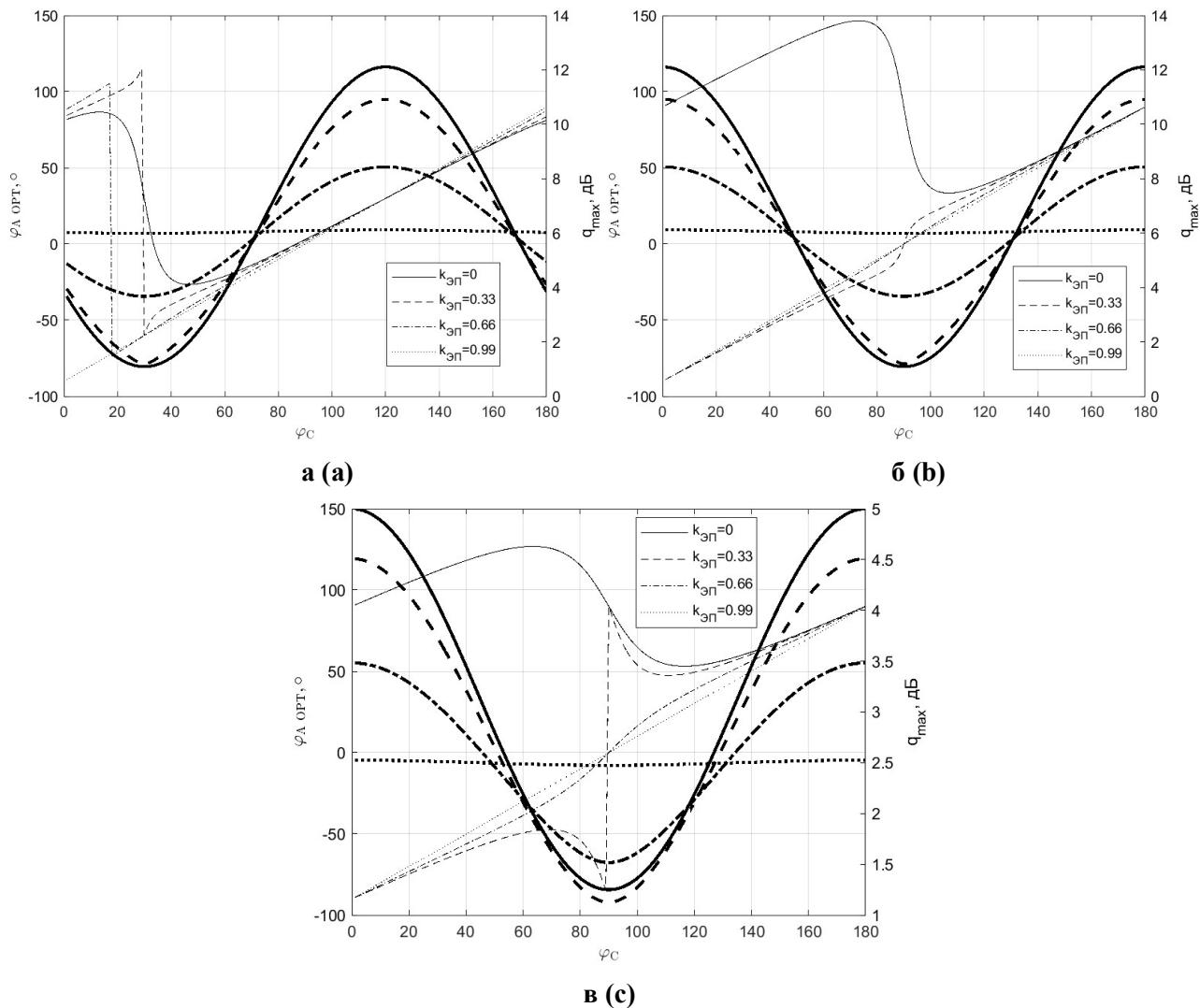


Рисунок 2 – Графики зависимости  $q_{\max}$  и  $\varphi_{\text{АОПТ}}$  от угла  $\varphi_C$  при одинаковом направлении вращения векторов Е сигнала, помехи относительно антенны: а –  $\varphi_{\Pi} = 30^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,3$ ; б –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,3$ ; в –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$

Figure 2 – Graphs of dependence  $q_{\max}$  and  $\varphi_{\text{АОПТ}}$  on angle  $\varphi_C$  with same direction of rotation of signal vectors E, interference relative to antenna: а –  $\varphi_{\Pi} = 30^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,3$ ; б –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,3$ ; в –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$

В реальных условиях на приемный антенно-фидерный тракт могут воздействовать несколько помех от различных источников. В этом случае отношение сигнал-помеха (5) на выходе поляризационного селектора принимает следующий вид:

$$q = \frac{P_{C \text{ вых}}}{P_{\Pi \text{ вых}}} = \frac{P_{C \text{ вх}} \gamma_{\text{ПС}}}{\sum P_{\Pi \text{ вых}}} = \frac{P_{C \text{ вх}} \gamma_{\text{ПС}}}{\sum_{m=1}^M P_{\Pi \text{ вх},m} \gamma_{\text{ПП},m}} = q_{\text{вх}} \frac{\gamma_{\text{ПС}}}{\sum_{m=1}^M \gamma_{\text{ПП},m}}, \quad (10)$$

где  $q_{\text{вх}} = \frac{P_{C \text{ вх}}}{\sum_{m=1}^M P_{\Pi \text{ вх},m}}$  – отношение мощности сигнала к суммарной мощности помех на входе антенно-фидерного тракта. При условии равенства мощности сигнала и суммарной мощности помех в раскрытии антены отношение сигнал-помеха на выходе поляризационного селектора (10) определяется отношением коэффициента поляризации принятого сигнала к сумме коэффициентов поляризации действующих помех:

$$q = \frac{\gamma_{\text{ПС}}}{\sum_{m=1}^M \gamma_{\text{ПП},m}}. \quad (11)$$

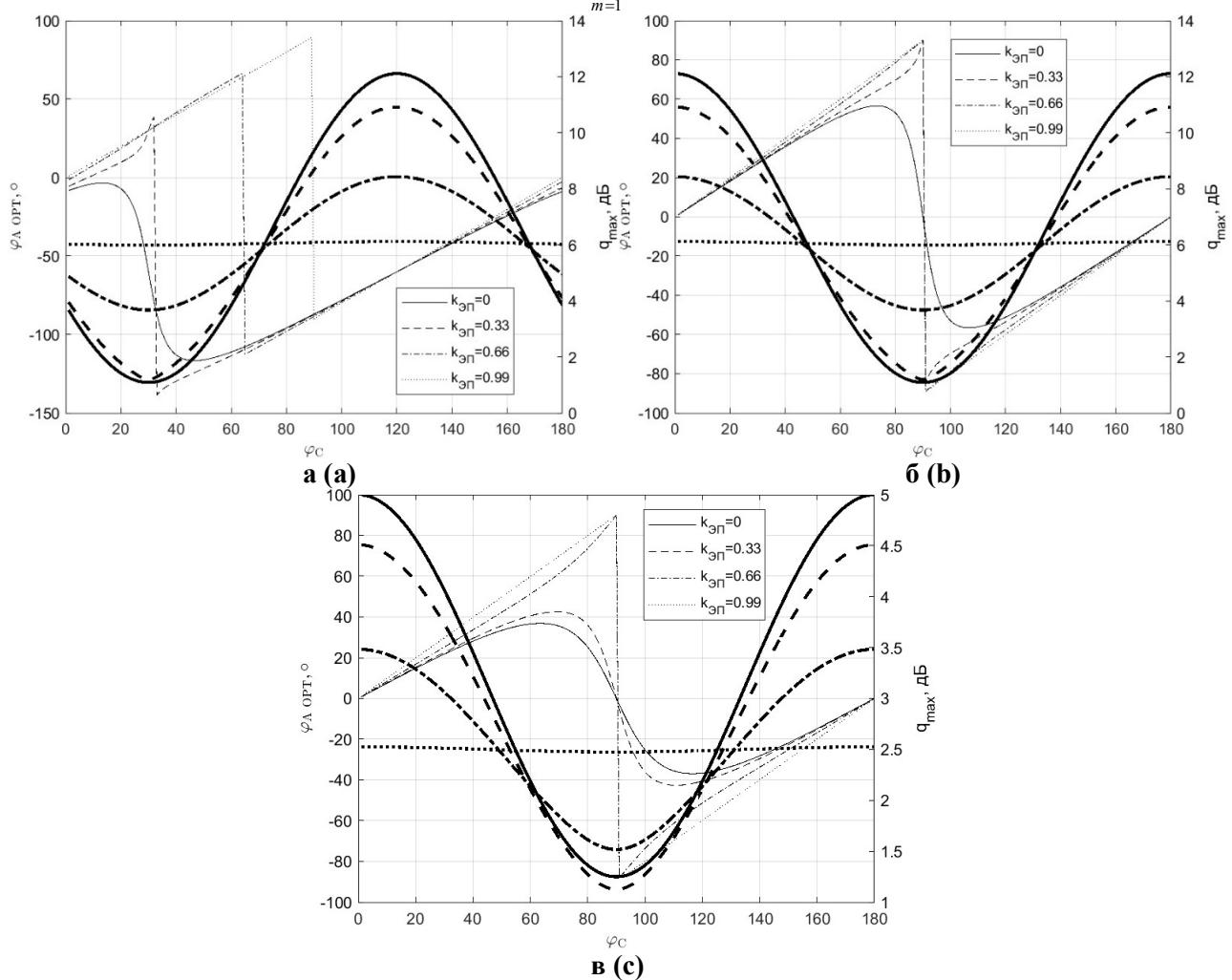


Рисунок 3 – Графики зависимости  $q_{\text{max}}$  и  $\varphi_{\text{АОПТ}}$  от угла  $\varphi_C$  при противоположном направлении вращения векторов Е сигнала, помехи относительно антенны:

а –  $\varphi_{\Pi} = 30^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C} = 0,3$ ; б –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C} = 0,3$ ; в –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C} = 0,5$

Figure 3 – Graphs of dependence  $q_{\text{max}}$  and  $\varphi_{\text{АОПТ}}$  on angle  $\varphi_C$  with opposite direction

of rotation of vectors E, interference relative to antenna: а –  $\varphi_{\Pi} = 30^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C} = 0,3$ ;

б –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C} = 0,3$ ; в –  $\varphi_{\Pi} = 90^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C} = 0,5$

В дальнейшем выражение (11) используется при решении оптимизационной задачи (9). На рисунках 4, 5 приведены зависимости оптимального угла эллипса поляризации антенны и максимального отношения сигнала-помеха от угла пространственной ориентации принятого сигнала при коэффициенте эллиптичности  $k_{\text{ЭП1}} = 1$  и различных значениях коэффициентов эллиптичности второй помехи  $k_{\text{ЭП2}}$  при одинаковом и противоположном направлениях вращения векторов напряженности ЭМВ сигнала и помех относительно вектора поляризации антенн. Здесь и далее используются обозначения:  $\Phi_{\text{П1}}$ ,  $\Phi_{\text{П2}}$  – углы пространственной ориентации эллипсов поляризации первой и второй помех, образованные осью ОХ и большими осями эллипсов поляризации помех.

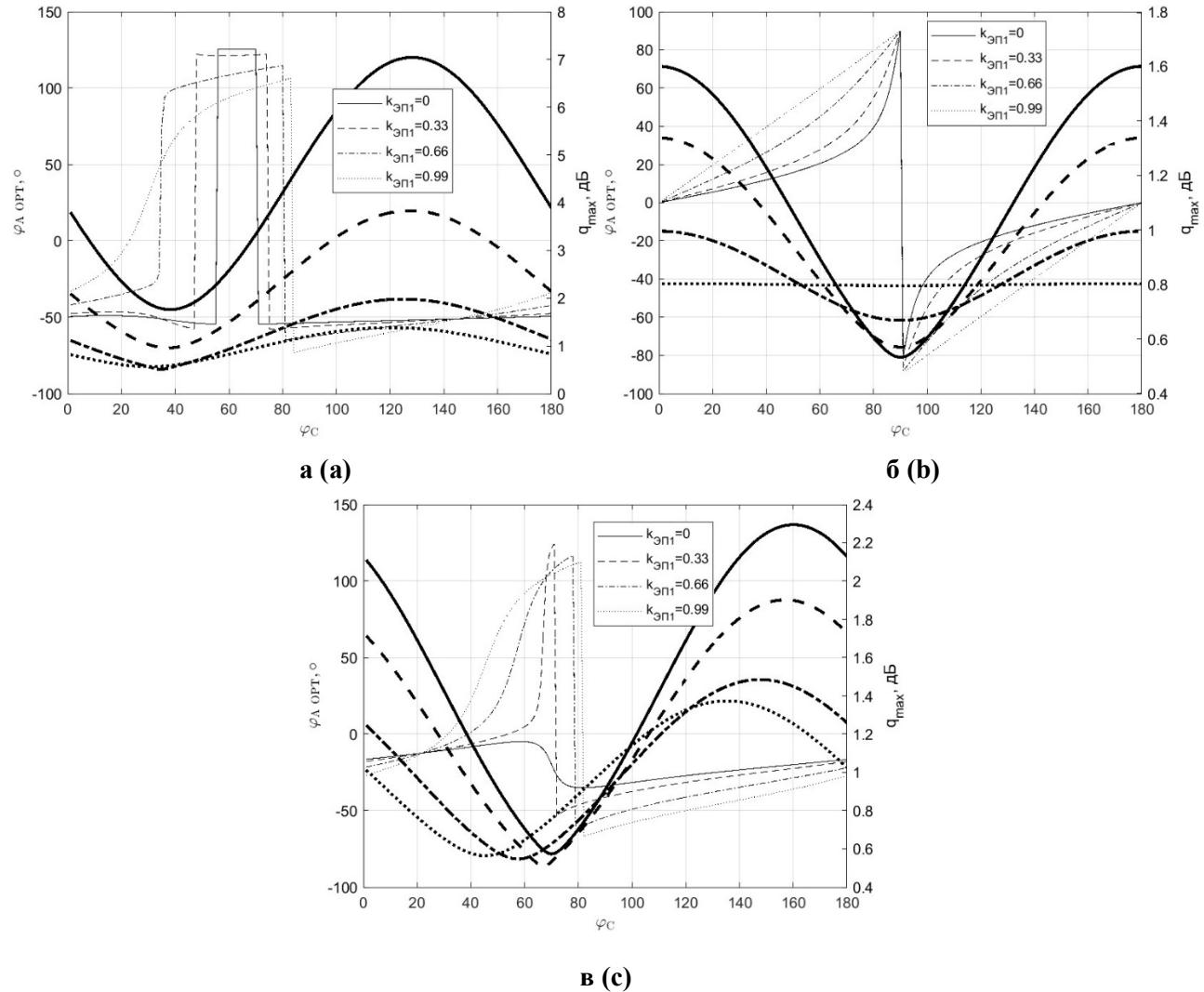


Рисунок 4 – Графики зависимости  $q_{\text{max}}$  и  $\Phi_{\text{АОПТ}}$  от угла  $\varphi_C$  при одинаковом направлении вращения векторов Е сигнала, помех относительно антенны:

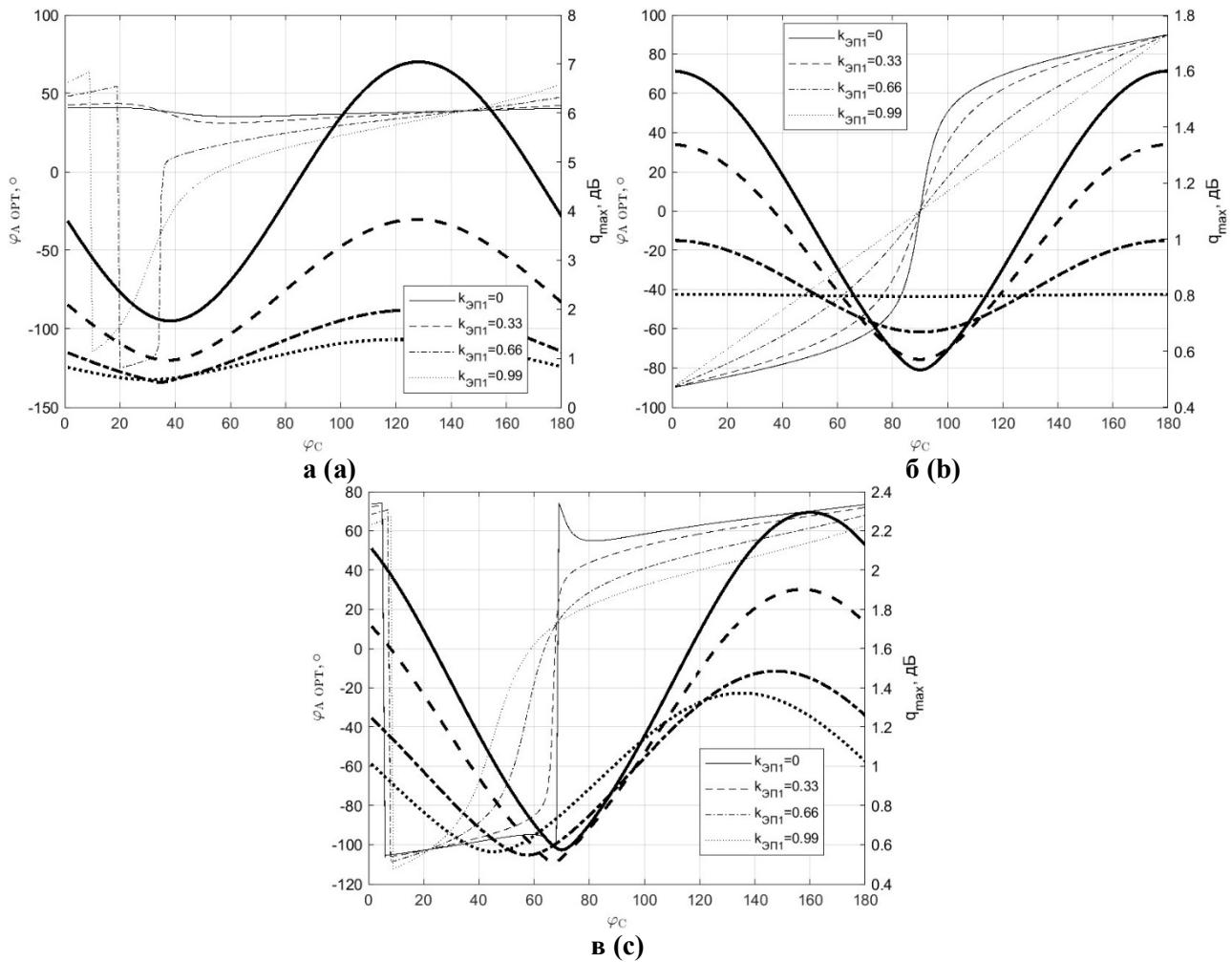
**а** –  $\Phi_{\text{П1}} = 45^\circ$ ,  $\Phi_{\text{П2}} = 30^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$ ,  $k_{\text{ЭП2}} = 0,3$ ; **б** –  $\Phi_{\text{П1}} = 90^\circ$ ,  $\Phi_{\text{П2}} = 45^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$ ,  $k_{\text{ЭП2}} = 1$ ;

**в** –  $\Phi_{\text{П1}} = 90^\circ$ ,  $\Phi_{\text{П2}} = 45^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$ ,  $k_{\text{ЭП2}} = 0,3$

**Figure 4 – Graphs of dependence  $q_{\text{max}}$  and  $\Phi_{\text{AOPT}}$  on angle  $\varphi_C$  with same direction of rotation of vectors E, interferences relative to antenna:**

**а** –  $\Phi_{\text{П1}} = 45^\circ$ ,  $\Phi_{\text{П2}} = 30^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$ ,  $k_{\text{ЭП2}} = 0,3$ ; **б** –  $\Phi_{\text{П1}} = 90^\circ$ ,  $\Phi_{\text{П2}} = 45^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$ ,  $k_{\text{ЭП2}} = 1$ ;

**в** –  $\Phi_{\text{П1}} = 90^\circ$ ,  $\Phi_{\text{П2}} = 45^\circ$ ,  $k_{\text{ЭС}} = 0,5$ ,  $k_{\text{ЭП2}} = 0,3$



**Рисунок 5 – Графики зависимости  $q_{\max}$  и  $\varphi_{\text{АОПТ}}$  от угла  $\varphi_C$  при противоположном направлении вращения векторов Е сигнала, помех относительно антенны:**

**а –**  $\varphi_{\text{П1}}=45^\circ$ ,  $\varphi_{\text{П2}}=30^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C}=0,5$ ,  $k_{\mathcal{E}\text{П2}}=0,3$ ; **б –**  $\varphi_{\text{П1}}=90^\circ$ ,  $\varphi_{\text{П2}}=45^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C}=0,5$ ,  $k_{\mathcal{E}\text{П2}}=1$ ;

**в –**  $\varphi_{\text{П1}}=90^\circ$ ,  $\varphi_{\text{П2}}=45^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C}=0,5$ ,  $k_{\mathcal{E}\text{П2}}=0,3$

**Figure 5 – Graphs of dependence  $q_{\max}$  and  $\varphi_{\text{AOPT}}$  on angle  $\varphi_C$  with opposite direction of rotation of vectors E, interferences relative to antenna:**

**а –**  $\varphi_{\text{П1}}=45^\circ$ ,  $\varphi_{\text{П2}}=30^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C}=0,5$ ;  $k_{\mathcal{E}\text{П2}}=0,3$ , **б –**  $\varphi_{\text{П1}}=90^\circ$ ,  $\varphi_{\text{П2}}=45^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C}=0,5$ ,  $k_{\mathcal{E}\text{П2}}=1$ ;

**в –**  $\varphi_{\text{П1}}=90^\circ$ ,  $\varphi_{\text{П2}}=45^\circ$ ,  $k_{\mathcal{E}C}=0,5$ ,  $k_{\mathcal{E}\text{П2}}=0,3$

Полученные результаты доказывают, что поляризационная селекция с использованием различных поляризационных характеристик сигнала и помехи может быть эффективно применена с целью подавления помехи, причем воздействующей не только по боковым, но и по главному лепестку диаграммы направленности антенны. При определенных условиях поляризационная селекция позволяет не только осуществлять эффективную обработку сигналов, но и обнаруживать и определять местоположение постановщика помехи.

### Заключение

В ходе проделанной работы проведены анализ основных поляризационных характеристик, анализ выражения отношения сигнала-помеха, установлена его связь с параметрами поляризации излученной и принятой волн. Анализ отношения сигнала-помеха проводился при условии согласования поляризационных характеристик излученного и принятого сигналов. Построены графики зависимостей отношения сигнала-помеха от коэффициентов эллиптичности, пространственного положения осей эллипсов сигнала и помехи и направления вращения

вектора напряженности электрического поля. Проведенное исследование показало возможность использования поляризационных характеристик принятых сигналов для селекции при выполнении задач подавления помех. Определен диапазон изменения значений поляризационных характеристик для наиболее эффективной селекции, а также имеющий наименьшее влияние на отношение сигнал-помеха.

### Библиографический список

1. Паршин Ю.Н., Александров П.А. Анализ эффективности определения направления на источник радиоизлучения в малоэлементной антенной решетке при действии пространственно коррелированных помех // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 50-1. С. 34-40.
2. Паршин Ю.Н., Буй К.В. Адаптивные алгоритмы обработки сигналов с разделением на пространственный и временной компоненты на фоне комплекса широкополосной и узкополосной помех // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2025. № 91. С. 3-12.
3. Паршин Ю.Н., Фам В.Д. Влияние корреляции канальных матриц на пропускную способность ММО системы при действии многолучевых помех // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2025. № 93. С. 31-40.
4. Татарников С.Ю. Поляризационный подход к развитию бортовых РЛС // Восьмая научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов АО «ГРПЗ»: сб. науч. статей: Рязань, 2022. С.18-26.
5. Шашин Н.А. Повышение информационной способности принятых сигналов за счет применения поляризации // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Т. 2. 2024. С.104-106.
6. Татаринов В.Н., Татаринов С.В., Лигтхарт Л.П. Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов. Т.1. Поляризация плоских электромагнитных волн и её преобразования. Томск: изд-во Том. ун-та, 2012. – 380 с. (Сер. Поляризация радиоволн. Вып. 2. Изд. второе. Ред. серии А.И. Козлов).
7. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника, 2005. 704 с.: ил. (Сер. Поляризация радиоволн. Ред. серии А.И. Козлов).
8. Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. М.: Советское радио. 1966. 440 с.
9. Защита от радиопомех / под ред. М.В. Максимова. М.: Советское радио. 1976. 496 с.
10. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Тяпкина. 2-е изд., перераб. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 536 с.
11. Паршин Ю.Н., Шашин Н.А. Анализ влияния поляризационных характеристик сигнала на коэффициент подавления помехи // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2025: сб. тр. VIII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т. 1 /под общ. ред. О.В. Миловзорова. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2025. Рязань. 258 с. С.145-153.

UDC 621.391.8; GRNTI 47.05

## OPTIMIZATION OF LINEAR SIGNAL PROCESSING AGAINST BACKGROUND OF POLARIZED INTERFERENCE

**Yu. N. Parshin**, Dr. in technical sciences, full professor, Head of the Department, RSREU, Ryazan, Russia; orcid.org/0000-0003-0061-7804, e-mail: parshin.y.n@rsreu.ru  
**N. A. Shashin**, postgraduate student, RSREU, Ryazan, Russia; orcid.org/0009-0002-5349-9629, e-mail: nshashin@yandex.ru

*The paper considers the possibility of using polarization characteristics to perform interference suppression tasks. Polarization characteristics and their effect on signal-to-noise ratio are analyzed. Mutual*

influence of signal and interference ellipticity coefficients, the angle of signal and interference ellipses axes spatial orientation and the direction of electric field strength vector rotation when performing tasks of polarization selection are considered. Graphs of signal-to-noise ratio dependences on polarization characteristics are constructed. The possibility of using polarization characteristics of received signals for selection when performing interference suppression tasks is shown. The range of changes in the values of polarization characteristics is determined for the most effective selection, as well as having the least effect on signal-to-noise ratio.

**Keywords:** polarization selection, polarization characteristics, ellipticity coefficient, polarization coefficient, signal-to-noise ratio, polarization ellipse spatial orientation angle.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2025-94-3-12

### References

1. **Parshin Yu.N., Aleksandrov P.A.** Analiz effektivnosti opredeleniya napravleniya na istochnik radioizlucheniya v maloelementnoj antennoj reshetke pri dejstvii prostranstvenno korrelirovannyh pomekh. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2014, no. 50-1, vol. 50, pp. 34-40. (in Russian).
2. **Parshin Yu.N., Buj K.V.** Adaptivnye algoritmy obrabotki signalov s razdeleniem na prostranstvennyj i vremennoj komponenty na fone kompleksa shirokopolosnoj i uzkopolosnoj pomekh. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2025, no. 91, pp. 3-12. (in Russian).
3. **Parshin Yu.N., Fam V.D.** Vliyanie korrelyacii kanal'nyh matric na propusknuyu sposobnost' MIMO sistemy pri dejstvii mnogoluchevyh pomekh. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2025, no. 93, pp. 31-40. (in Russian).
4. **Tatarnikov S.Yu.** Polaryzacionnyj podhod k razvitiyu bortovyh RLS. Vos'maya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh i specialistov AO «GRPZ»: sb. nauch. statej: Ryazan, 2022, pp.18-26.
5. **Shashin N.N.** Povyshenie informacionnoj sposobnosti prinyatyh signalov za schet primeniya polaryzaci. *Novye informacionnye tekhnologii v nauchnyh issledovaniyah: materialy XXIX Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchenyh i specialistov*. 2024, vol. 2, pp.104-106. (in Russian).
6. **Tatarinov V.N., Tatarinov S.V., Ligthart L.P.** Vvedenie v sovremennuyu teoriyu polaryzacii radiolokacionnyh signalov. Vol. 1. Polaryzaciya ploskih elektromagnitnyh voln i eyo preobrazo-vaniya. Tomsk: izd-vo Tom. un-ta, 2012, 380 p. (in Russian).
6. **Tatarinov V.N., Tatarinov S.V., Ligthart L.P.** *Introduction to the modern theory of polarization of radar signals. Vol. 1. Polarization of plane electromagnetic waves and its transformations*. Tomsk: Publishing house of Tomsk. University, 2012. 380 p. (in Russian).
7. **Kozlov A.I., Logvin A.I., Sarychev V.A.** *Polaryzaciya radiovoln. Polaryzacionnaya struktura radiolokacionnyh signalov*. Moscow: Radiotekhnika. 2005, 704 p. (Ser. Polaryzaciya radiovoln. Red. serii A.I. Kozlov).
8. **Kanarejkin D.B., Pavlov N.F., Potekhin V.A.** *Polaryzaciya radiolokacionnyh signalov*. Moscow: Sovetskoe radio. 1966. 440 p.
9. *Zashchita ot radiopomekh*. Ed. by Maksimov M.V. Moscow: Sovetskoe radio, 1976. 496 p. (in Russian).
10. Osnovy postroeniya radiolokacionnyh stancij radiotekhnicheskikh vojsk: uchebnik. Pod obshch. red. V.N. Tyapkina. 2-e izd., pererab. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t. 2016, 536 p. (in Russian).
11. **Parshin Yu.N., Shashin N.A.** Analiz vliyanija polaryzacionnyh harakteristik signala na koefficient podavleniya pomekhi. *Sovremennye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2025*: sb. tr. VIII mezhdunar. nauch.-tekhn. foruma: vol. 1. Pod obshch. red. O.V. Milovzorova. Ryazan: Ryazan.gos. radiotekhn. un-t, 2025, pp.145-153. (in Russian).