

*Владимир Иванович Мирненко (доктор техн. наук, профессор)<sup>1</sup>*

*Евгений Агашиевич Юфа (канд. воен. наук)<sup>1</sup>*

*Максим Николаевич Журавский (канд. техн. наук)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ ЦЕЛИ НА ФОНЕ ПАССИВНОЙ ПОМЕХИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА, ОСНОВАННОГО НА УЧЕТЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА ФАРАДЕЕВСКОГО ВРАЩЕНИЯ В ИОНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СИГНАЛА

*В статье проанализированы проведенные исследования некогерентно рассеянных в ионосфере радиосигналов большой длительности. Была экспериментально обнаружена деполаризация некогерентно рассеянного сигнала, которая обусловлена пространственным изменением угла фарадеевского вращения в ионосфере плоскости поляризации сигнала. Предложено использовать этот эффект для поляризационной селекции целей простой геометрической формы на фоне помеховых отражений от неоднородностей электронной концентрации ионизированной среды. Также было разработано устройство, реализующее предложенный способ поляризационной селекции целей. Схема предлагаемого устройства поляризационной селекции содержит две антенны круговой поляризации противоположного направления вращения, два оптимальных фильтра, два квадратурных канала синхронных детекторов, четыре умножителя, два сумматора, два узкополосных фильтра и функциональный преобразователь. Предполагается, что передающая антенна является линейно поляризованной. Для выяснения работоспособности устройства в различных условиях и для оценки его эффективности вычисляется отношение сигнал/помеха на выходе устройства в случае, когда матрица обратного рассеяния цели и матрица элемента помехи (например, диполя, уголкового отражателя и т.п.) не являются диагональными, т.е. когда при отражении сигнала от цели или от элемента помехи появляется кросс-поляризационный компонент.*

**Ключевые слова:** *некогерентное рассеивание, ионосферные возмущения, поляризационная селекция целей, фарадеевское вращение, устройство для подавления помеховых отражений.*

### Введение

В Украине находится РЛС дальнего обнаружения 5Н86, которая передана на попечение Государственного космического агентства Украины. Ее основной целью является обнаружение ионосферных возмущений техногенного происхождения. И, в перспективе, совместная работа со средствами Государственного космического агентства Украины для улучшения показателей обнаружения целей. Одним из перспективных направлений исследований является оценка эффективности поляризационной селекции цели на фоне пассивной помехи.

**Постановка проблемы.** Применительно к РЛС метрового диапазона ранее не была достаточно рассмотрена возможность использования некогерентно рассеянных ионизированной средой сигналов для повышения

точности измерения дальности до элементов сложной баллистической цели (СБЦ) в случае, когда отраженные от элементов СБЦ сигналы перекрываются во времени.

Также не достаточно полно были приведены исследования некогерентно рассеянных (НР) в ионосфере радиосигналов большой длительности.

### **Анализ последних исследований и публикаций.**

В [1] была экспериментально обнаружена деполаризация НР сигнала. Как показали эксперименты [1, 2], деполаризация НР сигнала обусловлена пространственным изменением угла фарадеевского вращения в ионосфере плоскости поляризации сигнала. В [51] было предложено использовать этот эффект для поляризационной селекции целей простой геометрической формы на фоне помеховых отражений от неоднородностей электронной концентрации ионизированной

середы. Поэтому целесообразным стало разработать устройство, реализующее предложенный в [3] способ поляризационной селекции целей.

Ниже показывается, что разработанное устройство позволяет селективировать космические объекты, как простой, так и сложной геометрической формы на фоне не только помеховых отражений от мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации, но и от диполей, уголкового отражателей.

Кроме того, в известной литературе [2, 3, 5] недостаточно полно рассмотрены данные вопросы.

Также, в дальнейшем необходимо оценить эффективность известного устройства поляризационной селекции целей [4, 6, 7, 8] и рассчитать вероятностные характеристики обнаружения цели при использовании известного и разработанного устройств поляризационной селекции цели.

**Целью статьи** является проведение анализа оценки эффективности поляризационной селекции цели на фоне пассивной помехи с помощью предложенного устройства, которое основано на учете пространственного изменения угла фарадеевского вращения в ионизированной среде плоскости поляризации сигнала.

**Изложение основного материала исследования.**

Схема предлагаемого устройства поляризационной селекции содержит две антенны круговой поляризации противоположного направления вращения, два оптимальных фильтра, два квадратурных канала синхронных детекторов, четыре умножителя, два сумматора, два узкополосных фильтра и функциональный преобразователь. Предполагается, что передающая антенна является линейно поляризованной.

Для выяснения работоспособности устройства в различных условиях и для оценки его эффективности вычислим отношение сигнал/помеха на выходе устройства в случае, когда матрица обратного рассеяния цели и матрица элемента помехи (например, диполя, уголкового отражателя и т.п.) не являются диагональными, т.е. когда при отражении сигнала от цели или от элемента помехи появляется кросс-поляризационный компонент. Расчеты проведем в предположении, что матрица рассеяния цели  $S_{ц}$  и матрицы рассеяния элементов помехи  $S_k$  не изменяются за время, равное постоянной  $T_{\phi}$  узкополосных фильтров предложенного устройства. Это предположение является в рассматриваемой задаче одним из основных.

Поскольку ионизированная среда (ионосфера, искусственные ионизированные образования,

вызванные, например, ядерными взрывами) является анизотропной, то линейно поляризованный сигнал при распространении в ней расщепляется на два радиосигнала – обыкновенный  $\vec{E}_1(t)$  и необыкновенный  $\vec{E}_2(t)$  компоненты [9]. Для радиоволн ультракороткого диапазона и квазипродольного (относительно магнитного поля Земли) распространения, поляризация сигналов  $\vec{E}_1(t)$  и  $\vec{E}_2(t)$  круговая. Сигналы  $\vec{E}_1(t)$  и  $\vec{E}_2(t)$ , распространяясь в ионизированной среде, встречают на своем пути цель и элементы пассивной помехи и отражаются от них. При отражении поляризация сигналов  $\vec{E}_1(t)$  и  $\vec{E}_2(t)$  из круговой превращается в эллиптическую.

Рассмотрим прохождение сигнала, отраженного от цели, через элементы предлагаемого устройства рис.1. Поляризационную матрицу рассеяния цели  $S_{ц}$  запишем в следующем виде (в круговом базисе):

$$S_{ц} = \begin{bmatrix} \sqrt{\sigma_{11}^u} e^{j\varphi_{11}}, & \sqrt{\sigma_{12}^u} e^{j\varphi_{12}} \\ \sqrt{\sigma_{21}^u} e^{j\varphi_{21}}, & \sqrt{\sigma_{22}^u} e^{j\varphi_{22}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\varphi_1 = \frac{\omega_0}{c} \int_0^{R_0} n_1(r) dr, \quad \varphi_2 = \frac{\omega_0}{c} \int_0^{R_0} n_2(r) dr,$$

В [10, 11] проанализировано прохождение сигналов круговой поляризации через анизотропную ионизированную среду, отражение таких сигналов от объекта простой геометрической формы и фильтрация эхо-сигналов в приемнике. Распространив указанный анализ на

$$X_1^u(t) = \frac{A_0}{R^2} g(\varphi, \theta) \tau_u / \psi(t-t_0 - \tau_0, \Omega) \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{22}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - 2\varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{22} + \frac{\pi}{4}\right] + \\ + \sqrt{\sigma_{12}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{12} + \frac{\pi}{4}\right] \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$X_2^u(t) = \frac{A_0}{R^2} g(\varphi, \theta) \tau_u / \psi(t-t_0 - \tau_0, \Omega) \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{11}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - 2\varphi_1 + \varphi_0 + \varphi_{11} - \frac{\pi}{4}\right] + \\ + \sqrt{\sigma_{21}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{21} - \frac{\pi}{4}\right] \end{array} \right\}, \quad (3)$$

объект сложной геометрической формы, получаем следующие выражения для сигналов  $X_{1,2}^u(t)$  на выходах первого и второго оптимальных фильтров предлагаемого устройства соответственно:

где  $\tau_u$  - эффективная длительность зондирующего сигнала,  
 $\varphi, \theta, R$  и  $V_2$  - координаты и радиальная составляющая скорости движения цели;

$$\tau_0 = \frac{2R_0}{C}, \quad \Omega = \frac{2\omega_0}{C} V_2, \quad g(\varphi, \theta) = g_1(\varphi, \theta) g_2(\varphi, \theta),$$

$|\varphi(t, \Omega)|$  - модуль автокорреляционной функции модуляции зондирующего сигнала;

$g_1(\varphi, \theta)$ ,  $g_2(\varphi, \theta)$  - нормированная характеристика направленности передающей и приемной антенн соответственно;

$R_0$  - расстояние до цели в момент времени  $t = 0$ ;

$n_1$ ,  $n_2$  - показатель преломления ионизированной среды для сигнала с правой и для сигнала с левой круговой поляризацией соответственно;

$\varphi_0$  - начальная фаза зондирующего сигнала;

$\omega_0$  - круговая несущая частота;

$A_0$  - постоянная, зависящая от средней мощности зондирующего сигнала  $P_0$  и коэффициентов усиления передающей и приемной антенн.

Сигналы  $X_{1,2}^u(t)$  далее детектируются квадратурными синхронными детекторами, умножаются и суммируются в соответствии со схемой рис.1. Выполнив указанные операции,

$$y_1^u(t) = \frac{A_0^2}{4R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^2 |\varphi(t - t_0 - \tau_u, \Omega)|^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \sin(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_{21} - \varphi_{22}) + \\ & \sqrt{\sigma_{12}^u \sigma_{11}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{22}) \end{aligned} \right] \quad (4)$$

получим, что напряжение на выходе первого  $y_1(t)$  и второго  $y_2(t)$  сумматоров определяются

$$y_2^u(t) = \frac{A_0^2}{4R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^2 |\varphi(t - t_0 - \tau_u, \Omega)|^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \cos(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{21}) + \\ & \sqrt{\sigma_{21}^u \sigma_{11}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{22}) \end{aligned} \right] \quad (5)$$

выражениями:

Дальнейшие вычисления проведем в предположении, что излучается прямоугольный радиоимпульс без внутриимпульсной модуляции.

$$|\varphi(\tau, \Omega)|^2 = \begin{cases} \frac{\sin \pi \Omega \tau_u}{\pi \Omega \tau_u} \left( 1 - \frac{|\tau|}{\tau_u} \right)^2, & \text{при } |\tau| \leq \tau_u; \\ 0, & \text{при } |\tau| > \tau_u; \end{cases} \quad (6)$$

В этом случае:

где  $\tau_u$  - длительность зондирующего импульса.

Подставив (6) в (4) и (5) и проинтегрировав  $y_1^u(t)$  и  $y_2^u(t)$  от « $t-2\tau_u$ » до  $t$  при условии, что

$$z_1^u(t) = \frac{A_0^2}{6R^4} g^2(\varphi, \theta) \left( \frac{\sin x_u}{x_u} \right)^2 \tau_u^3 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \sin(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{21}) + \\ & \sqrt{\sigma_{21}^u \sigma_{11}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{11}) \end{aligned} \right]$$

$$z_2^u(t) = \frac{A_0^2}{6R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^3 \left( \frac{\sin x_u}{x_u} \right)^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \cos(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{21}) + \\ & \sqrt{\sigma_{12}^u \sigma_{11}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{11}) \end{aligned} \right]$$

постоянная узкополосного фильтра равна  $2\tau_u$ , получаем напряжение на выходе первого  $z_1^u(t)$  и второго  $z_2^u(t)$  узкополосных фильтров:

$$x_u = \pi \tau_u \frac{2\omega_0}{C} V_u$$

где

Нетрудно видеть, что на выходе функционального преобразователя напряжение определяется следующим соотношением:

$$z^u = \sqrt{[z_1^u(t)]^2 + [z_2^u(t)]^2} = \frac{A_0^2}{6R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^2 \left( \frac{\sin x_u}{x_u} \right)^2 \sigma_u, \quad (7)$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u + \sigma_{22}^u \sigma_{21}^u + \sigma_{12}^u \sigma_{11}^u + \sigma_{22}^u \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{21}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_{11} - \varphi_{21}) + \sigma_{11}^u \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{12}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{12}) + \sigma_{12}^u \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \cos(2\varphi_{12} - \varphi_{22} - \varphi_{11})}$$

Таким образом, сигнал отраженный от цели, проходит на выход устройства без ослабления. Это обусловлено тем, что поляризационные свойства цели (матрица рассеяния цели) не изменяются за время, равное удвоенной длительности зондирующего сигнала. Поэтому в рассматриваемом устройстве отсутствуют потери энергии отраженного сигнала, связанные с флуктуациями параметров матрицы рассеяния цели.

Рассмотрим прохождение эхо-сигналов от помеховых образований (диполей, угловых отражателей и проч.) через элементы схемы рис.1.

Очевидно, что в силу линейности приемного тракта, суммарный сигнал помехи на "косинусном" выходе первого синхронного детектора записывается в следующем виде:

$$S_{1\Sigma}^u(t) = \frac{A_0 \tau_u}{2} \sum_{k=1}^M \frac{g(\varphi_k, \theta_k)}{r_k^2} \psi(t - t_0 - \tau_{ok}, \Omega_{gk}) \left\{ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{22k}^n} \cos[\Omega_{gk} + 2\varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{22k} - \frac{\pi}{4}] + \\ & \sqrt{\sigma_{12k}^n} \cos[\Omega_{gk} + \varphi_{12k} + \varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{12k} - \frac{\pi}{4}] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где  $M$  - число диполей (угловых отражателей и проч.) в импульсном объеме РЛС;

- доплеровское смещение частоты сигнала отраженного от  $k$ -го диполя;

$$\Omega_{gk} = \frac{2\omega_0}{C} V_k \quad \varphi_k, \theta_k, r_k \text{ и } V_k - \text{координаты и радиальная составляющая скорости}$$

$k$ -то диполя;

$$\sigma_{22k}^n, \sigma_{11k}^n, \varphi_{22k}^n, \varphi_{12k}^n - \text{параметры,}$$

характеризующие матрицу рассеяния  $k$ -го диполя.

Сигнал помехи на "синусном" выходе первого

$$S_{2\Sigma}^u(t) = \frac{A_0 \tau_u}{2} \sum_{k=1}^M \frac{g(\varphi_k, \theta_k)}{r_k^2} \psi(t - t_0 - \tau_{ok}, \Omega_{gk}) \left\{ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{22k}^n} \sin[\Omega_{gk} + 2\varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{22k} - \frac{\pi}{4}] + \\ & \sqrt{\sigma_{12k}^n} \sin[\Omega_{gk} + \varphi_{12k} + \varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{12k} - \frac{\pi}{4}] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

синхронного детектора записывается в следующем виде:

Формулы для помеховых сигналов на выходах второго синхронного детектора, аналогичны формулам (8, 9). Поэтому выписывать их не будем.

Найдем сигнал, создаваемый помехой на выходе сумматора:

$$y_1^l(t) = \sum_{k=1}^M S_{1k}^l(t) \sum_{k=1}^M S_{2k}^l(t) + \sum_{k=1}^M S_{1k}^l(t) \sum_{k=1}^M S_{2k}^l(t) = \sum_{k=1}^M S_{1k}^l(t) S_{2k}^l(t) +$$

$$+ \sum_{k=1}^M S_{1k}^{11}(t) S_{2k}^{11}(t) + \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M S_{1k}^{11}(t) S_{2l}^{11}(t) + \sum_{k=1}^M \sum_{l=1, l \neq k}^M S_{1k}^{11}(t) S_{2l}^{11}(t), (10)$$

Распределение диполей в пространстве положим равномерным. В этом случае третье и четвертое слагаемое в (10) обращается в нуль. Тогда

Элементы помехи распределены в пространстве непрерывным образом. Поэтому

$$y_1^n(t) = \frac{A_0^2}{4} \tau_u^2 \sum_{k=1}^M \frac{g^2(\varphi_k, \theta_k)}{V_k^4} \left[ \frac{\sqrt{\sigma_{1k}^n \sigma_{2k}^n} \sin(\omega_{\phi k} - 2\varphi_{1k} - \varphi_{2k}^n + \varphi_{1k}^n) + \sqrt{\sigma_{2k}^n \sigma_{1k}^n} \sin(\omega_{\phi k} - \varphi_{1k} - \varphi_{2k}^n + \varphi_{2k}^n) + \sqrt{\sigma_{1k}^n \sigma_{1k}^n} \sin(\omega_{\phi k} - \varphi_{1k} - \varphi_{1k}^n + \varphi_{1k}^n) \right] \psi(t - t_0 - \tau_{k1}, \Omega_{gk})^2 \quad (11)$$

имеет смысл перейти в (11) от суммирования к интегрированию.

Рассмотрим наиболее неблагоприятную ситуацию, когда диполи ориентированы относительно РЛС одинаковым образом. В этом случае суммирование в (11) должно производиться лишь с учетом случайных координат  $\varphi_k, \theta_k$  и скорости  $V_k$  диполей. Оно сводится к умножению выражения под знаком  $\sum$  на плотность вероятности диполей  $P(r, \varphi, \theta, V)$  и к интегрированию по пространству  $r, \varphi, \theta, V$ . Так как все слагаемые суммы одинаковы, то под знаком интегрирования получим величину  $MP(r, \varphi, \theta, V)$ , равную средней плотности диполей  $W_1(r, \varphi, \theta, V)$  в точке  $r, \varphi, \theta$  со скоростью  $V$ . В дальнейшем  $N_1(r, \varphi, \theta, V)$  будем представлять в виде произведения двух функций

$$N_1(r, \varphi, \theta, V) = N(r, \varphi, \theta) W(V),$$

где  $N(r, \varphi, \theta)$ - характеризует распределение

$$y_1^n(t) = \frac{A_0^2}{4} \tau_u^2 \int_{-\infty}^{\infty} dV \int_0^{\pi} d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \frac{g^2(\theta, \varphi)}{r^2} N(r, \varphi, \theta) W(V) \psi\left(t - \frac{2r}{C}, \frac{2\omega_0}{C} V\right)^2 \times \left[ \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{22}^n} \sin\left(\frac{4r}{C} \omega_{\phi} + \varphi_{11}^n - \varphi_{22}^n\right) + \sqrt{\sigma_{22}^n \sigma_{11}^n} \sin\left(\frac{2r}{C} \omega_{\phi} + \varphi_{21}^n - \varphi_{12}^n\right) + \sqrt{\sigma_{12}^n \sigma_{11}^n} \sin\left(\frac{2r}{C} \omega_{\phi} + \varphi_{11}^n - \varphi_{12}^n\right) \right] d\theta, \quad (12)$$

диполей по координатам, а  $W(V)$  - по скорости.

В результате получим

где  $\omega_{\phi}$  - частота фарадеевского вращения плоскости поляризации сигнала с линейной поляризацией.

Формула для сигнала  $y_2^n(t)$  на выходе второго блока сложения совпадает с формулой (12), если в последней заменить «sin» на «cos».

В дальнейшем будем полагать  $N(r, \varphi, \theta)$  и  $\omega_{\phi}$  постоянными в пределах импульсного объема РЛС, а время  $t$  большим удвоенной длительности зондирующего сигнала. Кроме того, предположим, что распределение диполей по скоростям является равномерным, в пределах  $\pm V_0$  и что излучается прямоугольный радиоимпульс без внутримпульсной модуляции.

$$\text{где } V_0 = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} g^2(\varphi_1, \theta) d\theta, \quad x_n = \pi \tau_u \frac{2\omega_0}{C} V_0,$$

$$x = \omega_{\phi} \tau_n, \quad B(x_n) = \frac{2}{x_n} \left[ 3i(x_n) + \frac{\cos x_n - 1}{x_n} \right], \quad R = \frac{Ct}{2}$$

$$y_1^n(t) = \frac{A_0^2 B_0 N_c \tau_u^3}{8R^2} \frac{B(x_n)}{x_n} \left[ \frac{1}{x^2} \left(1 - \frac{\sin 2x}{2x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{22}^n} \sin(2\omega_{\phi t} + \varphi_{11}^n - \varphi_{22}^n) + \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{22}^n \sigma_{21}^n} \sin(\omega_{\phi t} + \varphi_{21}^n - \varphi_{22}^n) + \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{12}^n} \sin(\omega_{\phi t} + \varphi_{11}^n - \varphi_{12}^n) \right]$$

$$y_2^n(t) = \frac{A_0^2 B_0 N_c \tau_u^3}{8R^2} \frac{B(x_n)}{x_n} \left[ \frac{1}{x^2} \left(1 - \frac{\sin 2x}{2x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{22}^n} \cos(2\omega_{\phi t} + \varphi_{11}^n - \varphi_{22}^n) + \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{22}^n \sigma_{21}^n} \cos(\omega_{\phi t} + \varphi_{21}^n - \varphi_{22}^n) + \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{12}^n} \cos(\omega_{\phi t} + \varphi_{11}^n - \varphi_{12}^n) \right]$$

В этих условиях после интегрирования  $y_1^n(t)$  и  $y_2^n(t)$  в пределах от « $t-2\tau_u$ » до « $t$ », возведения в квадрат результатов интегрирования,

$$z^u(t) = \frac{A_0^2}{2R^4} \tau_u^4 \sigma_n(t), \quad (13)$$

суммирования  $[y_1^n(t)]^2$  и  $[y_2^n(t)]^2$  и извлечения квадратного корня, получим

где

$$\sigma_m = B_0 N R^2 \frac{B(x_n)}{x_n} \frac{c \tau_u}{2} \left[ \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{22}^n \rho_1^2 + \sigma_{22}^n \sigma_{21}^n \rho_2^2 + \sigma_{12}^n \sigma_{11}^n \rho_2^2 + \sigma_{22}^n} \times \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{21}^n} \rho_1 \rho_2 \cos(\omega_{\phi t} + \varphi_{11}^n - \varphi_{21}^n) + \sigma_{11}^n \sqrt{\sigma_{22}^n \sigma_{12}^n} \rho_1 \rho_2 \times \cos(\omega_{\phi t} - \varphi_{22}^n + \varphi_{12}^n) + \sigma_{12}^n \sqrt{\sigma_{11}^n \sigma_{22}^n} \rho_2^2 \cos(2\varphi_{12}^n - \varphi_{11}^n + \varphi_{22}^n) \right],$$

$$\rho_1 = \frac{1}{x^2} \left(1 - \frac{\sin 2x}{2x}\right) \frac{\sin 2x}{2x}, \quad \rho_2 = \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \frac{\sin x}{x}, \quad x = \omega_{\phi} \tau_u$$

Сопоставляя (13) с (7) видим, что отношение  $g$  сигнал/помеха на выходе предложенного устройства определяется следующим соотношением

$$g \approx \frac{Z^u}{Z^u(t)} = \frac{\sigma_u}{\sigma_n(t)} g^2(\varphi_u, \theta_u) \frac{1}{3} \left( \frac{\sin x_u}{x_u} \right). \quad (14)$$

## Выводы и перспективы дальнейших исследований

Разработано устройство для поляризационной селекции целей на фоне пассивных помех. Получено выражение для отношения сигнал/помеха на выходе этого устройства применительно к случаю, когда цель и элементы помехи вызывают деполяризацию отраженных от них сигналов.

Показано, что разработанное устройство позволяет селективировать космические объекты как простой, так и сложной геометрической формы на фоне не только помеховых отражений от неоднородностей электронной концентрации, но и от диполей, уголкового отражателей. Эффективное подавление помеховых сигналов в разработанном устройстве достигается в случае, когда приращение фарадеевского угла вращения плоскости поляризации сигнала на интервале дальности, равном пространственной длительности зондирующего сигнала, достигает  $\pi$  радиан и более.

**Литература**

1. **Черногор Л.Ф.** Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы / Черногор Л.Ф. // Радиофизика и радиоастрономия. 2003. –Т8, №1. – с. 54-104. 2. **Рогожкин Е.В.** Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния /Рогожкин Е.В., Пуляев В.А., Лысенко В.Н.// Монография. – Харьков НТУ ХПИ 2008. -254с. 3. **Ткачев Г.Н.** Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты с работающим двигателем / Ткачев Г.Н., Карлов В.Д., Козлов С.И.// Космические исследования. – 1980. –Т.2. вып. 2. с. 266-277. 4. **Карлов В.Д.** Метод некогерентного рассеяния радиоволн / Карлов В.Д., Ткачев Г.Н.// Конспект лекций. – Х. ВИРТА ПВО. 1984. – 60 с. 5. **Я.Д. Ширман,** В.Н.Манжос. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех: М.: Радио и связь, 1981, 416 с. 6. **В. Мосалев** Системы дистанционного наблюдения за полем боя на базе разведывательно-сигнализационных приборов: Зарубежное военное обозрение, №2, 2000, С.21-27. 7. **В. Мосалев** Радиоэлектронные средства охраны ВС США и перспективы их развития: Зарубежное военное обозрение, №3, 2001, С.26-29, №4, 2001, С.23-26. 8. **Журавский М. Н.,** Морозова Г. В. Методы определения параметров геофизических явлений природного и искусственного происхождения на сейсмических станциях Службы специального контроля Государственного космического агентства Украины //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2017. – №. 1. – С. 59-67. 9. **Карлов Д. В.,** Журавський М. М. Аналіз можливих механізмів генерації збурень, що рухаються, зумовлених запусками ракет чи іншими явищами штучного або природного походження в іоносфері //Системи обробки інформації. – 2013. – №. 5. – С. 170-174. 10. **Карлов Д. В.,** Журавський М. М. Синтез алгоритму виявлення іоносферних збурень при використанні некогерентно розсіяних іоносферою сигналів радіохвиль //Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – №. 2. – С. 53-57. 11. **Карлов В. Д.** и др. К вопросу об оценке эффективности определения факта запуска космического объекта по изменению параметров ионосферы, контролируемой методом некогерентного рассеяния радиоволн //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – №. 2. – С. 155-157.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ЦІЛІ НА ФОНІ ПАСИВНОЇ ПЕРЕШКОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЮ, ЯКИЙ ВРАХОВУЄ ПРОСТОРОВІ ЗМІНИ КУТА ФАРАДЕЄВСЬКОГО ОБЕРТАННЯ В ІОНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ В ПЛОЩИНІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ СИГНАЛУ**

*Володимир Іванович Мірненко (доктор техн. наук, професор)<sup>1</sup>*

*Євген Агашович Юфа (канд. військ. наук)<sup>1</sup>*

*Максим Миколайович Журавський (канд. техн. наук)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

<sup>2</sup>*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

*У статті проаналізовано проведені дослідження некогерентно розсіяних в іоносфері радіосигналів великої тривалості. Була експериментально виявлена деполаризація некогерентно розсіяного сигналу, яка обумовлена просторовою зміною кута фарадеевського обертання в іоносфері у площині поляризації сигналу. Запропоновано використовувати цей ефект для поляризаційної селекції цілей простої геометричної форми на фоні перешкод від неоднорідностей електронної концентрації іонізованого середовища. Також було розроблено пристрій, що реалізує запропонований спосіб поляризаційної селекції цілей. Схема запропонованого пристрою поляризаційної селекції містить дві антени кругової поляризації протилежного напрямку обертання, два оптимальних фільтра, два квадратурних канали синхронних детекторів, чотири помножувачі, два суматора, два вузькосмугових фільтра і функціональний перетворювач. Передбачається, що передавальна антена є лінійно поляризованою. Для з'ясування працездатності пристрою в різних умовах і для оцінки його ефективності рахується відношення сигнал/перешкода на виході пристрою в разі, коли матриця зворотного розсіювання цілі і матриця елемента перешкоди (наприклад, диполя, кутового відбивача тощо) не є діагональними, тобто коли при відображенні сигналу від цілі або від елемента перешкоди з'являється крос-поляризаційний компонент.*

***Ключові слова:** некогерентне розсіювання, іоносферні збурення, поляризаційна селекція цілей, фарадеевське обертання, пристрій для селекції перешкодових відображень.*

**EVALUATION OF THE OBJECTIVES POLARIZATION DISCRIMINATION AGAINST PASSIVE HINDRANCES WITH THE DEVICE, BASED ON CONSIDERATION OF THE SPATIAL VARIATION OF THE FARADAY ROTATION ANGLE IN THE PLANE OF POLARIZATION IS IONIZED MEDIUM SIGNAL**

*Volodymyr I. Mirnenko (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>*

*Evgen A. Yufa (Candidate of Military Sciences)<sup>1</sup>*

*Maxim N. Zhuravskij (Candidate of Technical Sciences)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*National Ukrainian Defense University named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

The paper analyzes the studies of incoherently scattered ionospheric radio signals of long duration. The depolarization of the incoherently scattered signal was experimentally of incoherently scattered detected, which is due to the spatial variation of the Faraday rotation angle in the ionosphere of the signal polarization plane. It is proposed to use this effect for polarization selection of simple geometric shapes against the background of interference reflections from inhomogeneities in the electron concentration of the ionized medium. Also, a device was developed that implements the proposed method of polarization target selection. The scheme of the proposed polarization selection device contains two circular polarization antennas of the opposite direction of rotation, two optimal filters, two quadrature channels of synchronous detectors, four multipliers, two adders, two narrowband filters and a functional converter. It is assumed that the transmitting antenna is linearly polarized. In order to determine the operability of the device under various conditions and to evaluate its efficiency, the signal-to-noise ratio at the output of the device is calculated in the case where the backscattering matrix of the target and the matrix of the interference element (for example, dipole, angle reflector, etc.) are not diagonal, *m* .e. when a cross-polarization component appears when the signal from the target or from the interference element is reflected.

**Key words:** incoherent scatter, ionospheric disturbances, polarization discrimination purposes, the Faraday rotation device for the suppression of interfering reflections.

### References

- 1. Chernogor L.F.** Physics of the Earth, atmosphere and geocosm in the light of the system paradigm / Chernogor L.F. // Radiophysics and radio astronomy. 2003.-T8, No.1. - from. 54-104. **2. Rogozhkin E.V.** Sounding signals for ionosphere studies by incoherent scattering method / Rogozhkin E.V., Pulyaev V.A., Lysenko V.N. // Monograph. - Kharkiv NTU KhPI 2008.-254s. **3. Tkachev G.N.** Large-scale perturbations in the ionosphere that arise during a rocket flight with a working engine / Tkachev G.N., Karlov V.D., Kozlov S.I. // Cosmic Investigations. - 1980.-T.2. no. 2. p. 266-277. **4. Charles D.D.** Method of incoherent scattering of radio waves / Karlov V.D., Tkachev G.N. // Abstract of lectures. - H. VIRTUA AIRCRAFT. 1984. 60 s. **5. J.D. Shirman, V.N. Manjos.** Theory and technique of processing radar information against the background of interference: M. : Radio and Communication, 1981, 416 p. **6. V. Mosalev** Systems for remote observation of the battlefield on the basis of reconnaissance and signaling devices: Foreign Military Review, No. 2, 2000, P.21-27. **7. V. Mosalev** Radio-electronic means of protection of the US Armed Forces and prospects for their development: Foreign Military Review, No. 3, 2001, P.26-29, No. 4, 2001, P.23-26. **8. Zhuravskij M.N., Morozova G.V.** Methods for determining the parameters of geophysical phenomena of natural and artificial origin at seismic stations Special control services of the State Space Agency of Ukraine // Informational-keruyuchi systems in the transport sector. - 2017. - No. 1. - P. 59-67. **9. Karlov D.V., Zhuravskij M. N.** Analogiz mozhlivih mekhanizmov generatsii zbuven, sho ruhayutsya, zoumovleny rocket launches by the newest manifestations of the natural abortion in the ionosphere // System information boxes. - 2013. - No. 5. - P. 170-174. **10. Karlov D.V., Zhuravskij M.N.** Synthesis of the algorithm for the appearance of inospheric zuburins in incoherently incoherent vegetation of the ionosphere signaling radiodigil // Zbirnik naukovykh prac KHarkivskogo University Povitryanykh forces. - 2013. - No. 2. - P. 53-57. **11. Karlov V.D. et al.** On the evaluation of the effectiveness of determining the launch of a space object by changing the parameters of the ionosphere controlled by the method of incoherent scattering of radio waves // Science and Technology of the Powers of the Forces of the Angry Forces of Ukraine. - 2010. - No. 2. - P. 155-157.