

Los ruidos de la superficie del mar en la salida de un sistema de correlación pluricanal

Arkhipov Mikhail Alexandrovitch*

Resumen

En el presente artículo se consideran las características de correlación de los ruidos de la superficie del mar en la salida de un sistema de correlación con elementos receptores como arreglos discretos lineales. En calidad de un modelo del campo de los ruidos de la superficie del mar se considera una distribución infinita de las fuentes elementales no coherentes. La correlación local de los ruidos de la superficie del mar se toma en cuenta por medio de la introducción de la directividad de las fuentes elementales en plano vertical. Se considera el caso de orientación vertical de la base y las antenas receptoras con posibilidad de compensación de antenas en semiesfera de arriba. Se obtienen las expresiones para calcular el coeficiente de transferencia de los ruidos de la superficie del mar por las antenas receptoras y las funciones de correlación y crosscorrelación de los ruidos en la salida de las mismas. Con base en las expresiones obtenidas se han estudiado la efectividad de la supresión de los ruidos de la superficie del mar y las características de correlación de los ruidos en la salida de las antenas. Se consideran los siguientes problemas: la elección del paso de las antenas, la discorrelación de los ruidos por medio de la distribución de antenas en el espacio y el efecto de la compensación de las antenas en las características de correlación de los ruidos de la superficie del mar.

Abstrait

On étudie ici les caractéristiques de corrélation des bruits de la surface de la mer à la sortie d'un système de corrélation avec des dispositifs discrets linéaires comme éléments récepteurs. Comme modèle d'un champ de bruits de surface marins, on considère une distribution infinie de sources élémentales non cohérentes de bruits. La corrélation locale des bruits de la surface de la mer est prise en considération au moyen de l'introduction de la directivité de sources élémentales dans le plan vertical. On considère aussi le cas d'une base réceptrice d'orientation verticale et l'orientation verticale d'antennes avec la possibilité de compensation dans l'hémisphère supérieur. On obtient les expressions pour calculer d'abord le coefficient de transference des bruits de la surface de la mer par les antennes réceptrices et ensuite les fonctions de corrélation et intercorrélation des bruits à la sortie de celles-la. Avec l'appui des expressions obtenues on a étudié l'effectivité de la suppression des bruits de la surface de la mer et les caractéristiques de corrélation des bruits à la sortie des antennes. On examine aussi les problèmes suivants: l'élection du pas des antennes, le manque de corrélation des bruits à travers la distribution des antennes dans l'espace et l'effet de la compensation des antennes sur les caractéristiques de corrélation des bruits de la surface de la mer.

Abstract

This paper considers the correlation characteristics of sea surface noise in the output of a correlation system with discrete linear arrays as receiving elements. As a model of a sea surface noise field, we considered an infinite distribution of noncoherent elemental noise sources. The local correlation of sea surface noises is taken into account by introducing the directivity of the elemental sources in a vertical plane. It also considers the case of a vertically oriented receiving base and vertical orientation of antennas with the possibility of their compensation in the upper hemisphere. We obtained the expressions to calculate the coefficient of transference of sea surface noises for the receiving antennas in the correlation system. We also obtained the expressions to calculate both the correlation functions and the crosscorrelation functions of the sea surface noises in the output of the correlation system. Based on the expressions obtained, we investigated the efficiency of the suppression of sea surface noises and the correlation characteristics of sea surface noises in antenna outputs. The following issues were considered: selection of the antenna step, discorrelation of noise through the distribution of antennas in space, and the effects of the compensation of antennas on the correlation characteristics of sea surface noise.

Introducción

El diseño de un sistema de información en el que se usa un campo físico en la mayoría de los casos se relaciona con un problema de reducción de la influencia de los ruidos, los que por regla siempre se presentan en un ambiente real. Para los sistemas de correlación, los cuales operan por las funciones de crosscorrelación, este problema tiene dos aspectos:

- Primero, crear las condiciones de recepción de las señales las cuales permitirán obtener en la salida del sistema una relación señal a ruido posiblemente más alta;
- Segundo, garantizar niveles bajos de correlación de los ruidos en la salida del sistema.

Se sabe que una señal en la salida de dicho sistema de correlación se representa como una función de crosscorrelación, y el ruido se representa como una superposición de la función de crosscorrelación de los ruidos y la varianza de las fluctuaciones de la función de crossco-

* Profesor-Investigador de tiempo completo de la UTM.

relación en la salida del sistema (Bendat 1958) y (Dav-
enport y Root 1958). En Arkhipov (1997) se demostró
que el aumento de la efectividad de los sistemas de corre-
lación se puede realizar por medio de filtración del campo
de los ruidos mediante el empleo de antenas con directivi-
dad en composición del sistema de correlación. En dicho
trabajo se consideró el caso de ausencia de correlación de
los ruidos en la salida del sistema. En el caso del funciona-
miento de un sistema de correlación en un ambiente real
siempre existe la posibilidad de que estén presentes los
componentes correlacionados del campo ruido del medio.
Por ejemplo, para una aplicación de un sistema de corre-
lación en el mar, los componentes, como los ruidos diná-
micos de las zonas costeras o los ruidos de la superficie
agitada del mar, los podemos considerar como correla-
cionados. Para los sistemas de correlación con elementos
receptores indireccionales la discorrelación de los ruidos se
puede conseguir por medio de una distribución de los ele-
mentos receptores en el espacio. En el caso de un sistema
de correlación con elementos receptores direccionales la
discorrelación de los ruidos del mar no es evidente. En
este trabajo limitamos el empleo de los sistemas de corre-
lación, únicamente los utilizamos en condiciones de mar
abierto. En este caso el componente principal del campo
de los ruidos es el componente de los ruidos dinámicos de la
superficie del mar. Se investigan las características de cor-
relación de los ruidos de la superficie del mar en la
salida de un sistema de la misma naturaleza con elemen-
tos receptores como arreglos discretos lineales. Se deter-
minan los valores de los coeficientes de supresión de los
ruidos de la superficie del mar por las antenas, y se defi-
nen las condiciones de discorrelación de los ruidos en la
salida de las antenas del sistema.

Sistema de correlación y el modelo de la superficie del mar

Consideramos un sistema de correlación pluricanal que
en calidad de elementos receptores utiliza dos antenas li-
neales y discretas, y cada antena contiene N elementos
receptores indireccionales. La distancia entre los elemen-

tos vecinos de cada antena tiene un valor constante y se
determina como el paso d de antena. Se toma en cuenta
el caso de un sistema de correlación cuando la base y las
antenas receptoras tienen una orientación vertical. Dicha
orientación permite formar las zonas del funcionamiento
del sistema, en las cuales las condiciones de recepción no
dependen de la dirección azimutal por las fuentes de las
señales. Se considera el caso cuando la unidad electróni-
ca del sistema permite realizar la compensación de las
antenas receptoras en un diapasón de ángulos de com-
pensación q_0 desde 0° a 90° en semiesfera hacia arriba.
La distribución vertical de las antenas en el espacio se de-
termina por medio de una distancia D entre los centros
geométricos de las antenas.

En calidad de un modelo estadístico de la superficie del
mar consideramos una distribución continua de las fuentes
del ruido no coherentes, que tienen directividad en el pla-
no vertical (Furduev 1974). Establecemos que la caracte-
rística de directividad para todos las fuentes elementales
de la superficie se determina como $D^2(w, h)$, donde w es la
frecuencia y h un ángulo en el plano vertical. Y que todas
las fuentes tienen espectros de excitación idénticos.

Alineamos el origen de un sistema polar de coordena-
das con el centro de la base de correlación y el eje polar
con una normal a la superficie del mar. En este sistema de
coordenadas la característica de directividad se determina
por medio de la siguiente expresión (Furduev 1974):

$$D^2(w, h) = \cos^{2m(w)} h \quad (1)$$

Donde $m(w)$ es un factor del grado de directividad de
los ruidos de la superficie del mar y h un ángulo entre el
eje vertical y una dirección de emisión.

La posición relativa del sistema de correlación con
antena receptora I (AR_I), antena receptora II (AR_{II}) y una
fuente elemental con característica de directividad $D^2(w, h)$
de la superficie S se represente en la figura 1.

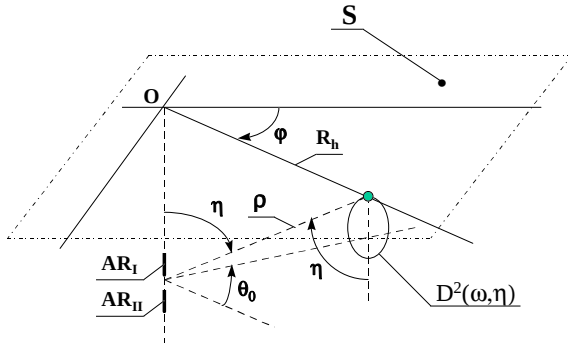


FIGURA 1. POSICIÓN RELATIVA DEL SISTEMA DE CORRELACIÓN Y UNA FUENTE ELEMENTAL CON CARACTERÍSTICA DE DIRECTIVIDAD $D^2(w, h)$

Los ángulos h y j determinan las direcciones hacia la fuente en planos vertical y horizontal respectivamente, el ángulo q_0 determina la dirección de compensación de las antenas.

Función de correlación de los ruidos de la superficie del mar en la salida del sistema

Se obtiene la expresión para la función de correlación de los ruidos de la superficie del mar en la salida del sistema de correlación. Consideramos el caso en el cual el sistema receptor está en la zona de Fraunhofer relativamente distante de las fuentes de excitación, es decir podemos considerar los frentes de las ondas acústicas en la zona de recepción como los frentes planos de cualquier dirección de caída. La caída del frente de una onda acústica de una fuente elemental se muestra en figura 2.

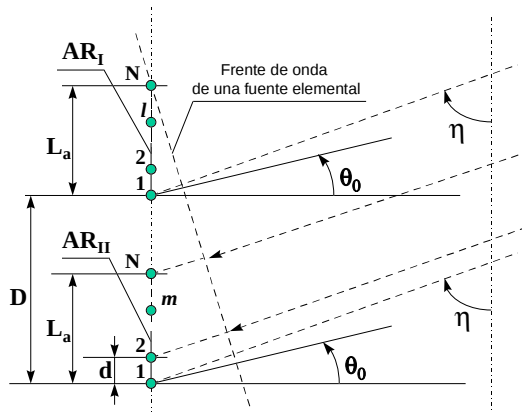


FIGURA 2. ANTENAS RECEPTORES EN EL CASO DE LA PRESENCIA DE UNA ONDA PLANA DE UNA FUENTE ELEMENTAL

La expresión para la función de correlación de los ruidos de una fuente elemental en la salida de una pareja de los elementos receptores, un elemento con índice l de antena AR_l y un elemento con índice m de antena $AR_{ll'}$ se escribe como:

$$K_{r_{12}}(t, r_l, r_m) = \frac{1}{32\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G(w) D^2(w, r) \exp\{jw[t - (\frac{1}{2}r_l - \frac{1}{2}r_m - \frac{1}{2}r)/c]\} dw}{\frac{1}{2}r_l - \frac{1}{2}r - \frac{1}{2}r_m - \frac{1}{2}r} \quad (2)$$

donde $G(w)$ es el espectro temporal de las señales en las salidas de los canales receptores de las antenas,

ρ el radio-vector que determine las coordenadas de la fuente,

r_l, r_m son radio-vectores que determinan las coordenadas de los elementos receptores de las antenas AR_l y $AR_{ll'}$,

t el retardo de tiempo, y

c la velocidad del sonido.

Introducimos las variables $R_l = \frac{1}{2}r_l - \frac{1}{2}r$ y $R_m = \frac{1}{2}r_m - \frac{1}{2}r$. Al establecer estas designaciones podemos escribir la expresión para la función de correlación de una fuente elemental en la salida de los elementos receptores con índices l y m en la siguiente forma:

$$K_{r_{12}}(t, r_l, r_m) = \frac{1}{32\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G(w) D^2(w, \rho) \exp\{jw[t - (R_l - R_m)/c]\} dw}{R_l R_m} \quad (3)$$

En el caso de una onda plana y cuando el tamaño de la base receptora $\frac{1}{2}r_l - \frac{1}{2}r_m < R_l, R_m$ podemos introducir $R^2 = R_l R_m$. Introducimos también una coordenada polar R_h como una proyección de la distancia R para la fuente en plano horizontal, $R_h = R \sinh$ (Ver figura 1). Al integrar por la superficie obtenemos la función de correlación de los ruidos de la superficie en la salida de una base de correlación vertical:

$$K_{n_{12}}(t, r_l, r_m) = \frac{1}{32\pi^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G(w) D^2(w, R_h) \exp\{jw[t - (R_l - R_m)/c]\} R_h dw dR_h dj}{R^2} \quad (4)$$

Consideramos la función de directividad $D^2(w, R_n)$ de las fuentes de la superficie, fórmula (1). El factor del grado de directividad $2m(w)$ en el caso común es una función de la frecuencia w y del grado de agitación de la superficie del mar. La agitación del mar depende de la velocidad del viento sobre la superficie del mismo. En la figura 3 se representan las características experimentales del factor $2m$ como una función de la velocidad del viento, $2m=f(s_w)$, las características se representan para las frecuencias 500Hz, 5kHz, 8kHz (Furduev 1974).

Las características muestran que el factor del grado de directividad de los ruidos de la superficie del mar tiene un carácter lineal y no cambia demasiado en un diapasón limitado de los valores de la velocidad del viento. En adelante asumimos que el factor $2m$ posee valores constantes y enteros para un diapasón limitado de los valores de la velocidad del viento, por ejemplo para $f=5\text{kHz}$ y $s_w=3..6\text{m/s}$ el factor $2m$ tiene un valor igual 3, para $f=5\text{kHz}$ y $s_w=6..8\text{m/s}$ el factor $2m$ tiene valor de 4, etcétera. Podemos hacer también otra aproximación, suponemos que en un diapasón limitado de las frecuencias el factor $2m$ tiene también un valor entero y constante. Con estas aproximaciones podemos escribir: $D^2(w, h) = \cos^{2m} h$. Reemplazamos la integración por la variable R_n en la integración por la variable h y escribimos la expresión para la función de correlación en la salida de las antenas como una suma de las funciones de correlación particulares de todas las bases de correlación de los elementos receptores de las antenas AR_i y AR_{ii} :

$$K_{n12}(t, D) = \frac{1}{16p^2} \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^N \sum_{0}^{2p} \sum_{0}^{p/2} K_{ii}[t - \frac{D}{c} \cosh - (l-m) \left(\cosh - \frac{d}{c} \text{sen} q_0 \right)] \cos^{2m} h \text{tg} h \text{d} h \text{d} j \quad (5)$$

donde D es distancia entre los centros geométricos de las antenas receptoras,
 d el paso de las antenas,
 N el número de los elementos receptores en cada antena,

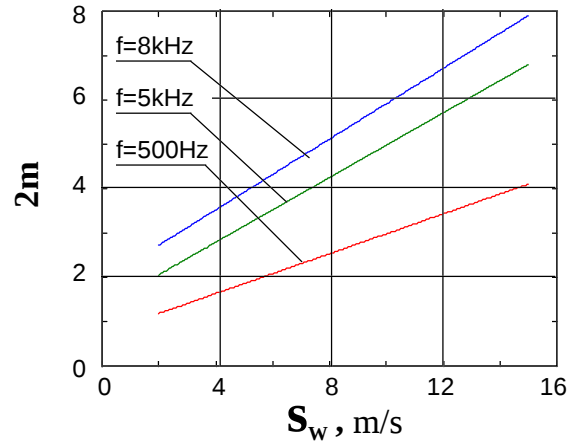


FIGURA 3. CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES DEL FACTOR $2m$ COMO UNA FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO s_w PARA LAS FRECUENCIAS 500HZ, 5KHZ, 8KHZ.

$K_{ii}[t]$ la función de correlación de los ruidos en las salidas de los canales receptores de las antenas,
 h el ángulo polar, y
 j el ángulo azimutal.

Escribimos la expresión con una sola suma :

$$K_{n12}(t, D) = \frac{1}{16p^2} \sum_{n=-(N-1)}^{n=N-1} \sum_{0}^{(N-1/2n)} \sum_{0}^{2p} \sum_{0}^{p/2} K_{ii}[t - \frac{D}{c} \cosh - n \frac{d}{c} (\cosh - \text{sen} q_0)] \cos^{2m-1} h \text{sen} h \text{d} h \text{d} j \quad (6)$$

Consideremos la integral doble de la expresión (6). Después de la integración sobre la variable j y teniendo en cuenta que el $\text{sen} h \text{d} h = d \cosh$, podemos escribir la integral de la siguiente manera:

$$\sum_{0}^{2p} \sum_{0}^{p/2} K_{ii}[t - \frac{D}{c} \cosh - n \frac{d}{c} (\cosh - \text{sen} q_0)] \cos^{2m-1} h \text{sen} h \text{d} h \text{d} j = \sum_{0}^1 -2p \sum_{0} K_{ii}[t - \frac{D}{c} \cosh - n \frac{d}{c} (\cosh - \text{sen} q_0)] \cos^{2m-1} h d \cosh \quad (7)$$

Ahora introducimos las siguientes designaciones:

$$t_b = \frac{D}{c} \quad t_d = \frac{d}{c}; \quad A = t + n t_d \text{sen} q_0; \quad B = -t_b - t_d n; \quad \cosh = x \quad (8)$$

Representaremos la integral (7) por medio del espectro temporal $G(w)$ de las señales en las salidas de los canales de las antenas tomando en cuenta las designaciones introducidas (podemos no tomar en cuenta el signo de la integral (7) ya que al final de cuentas nos interesan las características de correlación normalizadas):

$$\begin{aligned} \int_0^1 \int_{-\infty}^{\infty} K_{11}(A+Bx) x^{2m-1} dx &= \int_0^1 \int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jw(A+Bx)} dw x^{2m-1} dx = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jwA} \int_0^1 e^{jwBx} x^{2m-1} dx dw. \end{aligned} \quad (9)$$

Hay una integral de tablas de integración (Gradshteyn 1995):

$$\int_0^1 e^{ax} x^n dx = \left[\frac{x^n}{a} + \sum_{k=1}^N \frac{(-1)^k n(n-1)\dots(n-k+1)}{a^{k+1}} x^{n-k} \right] e^{ax}. \quad (10)$$

Representamos (10) en la siguiente forma:

$$\int_0^1 e^{ax} x^n dx = \left[\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(-1)^{k-1} C_{n+1}^k}{(n+1)a^k} x^{n-k+1} \right] e^{ax}, \quad (11)$$

$$\text{donde } C_{n+1}^k = \frac{(n+1)!}{k!(n-k+1)!}.$$

A partir de (11) la integral interna en la expresión (9) la podemos representar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \int_0^1 e^{jwBx} x^{2m-1} dx &= e^{jwBx} \sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jwB)^k} x^{2m-k} \Big|_0^1 = \\ &= \sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jwB)^k} \frac{1}{2m} - \frac{(-1)^{2m-1} (2m)!}{2m(jwB)^{2m}} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2m(jwB)^{2m}} \left[\sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jwB)^{2m-k}} + (-1)^{2m} (2m)! \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Sustituimos (12) en (9):

$$\int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jwA} \int_0^1 e^{jwBx} x^{2m-1} dx dw =$$

$$= \frac{1}{2mB^{2m}} \int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jwA} \sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jw)^{2m-k}} x^{2m-k} dw$$

$$x \left[\sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jwB)^{2m-k}} e^{jwB} + (-1)^{2m} (2m)! \right] dw =$$

$$= \frac{1}{2mB^{2m}} \left[\sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jwB)^{2m-k}} \int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jw(A+B)} dw + (-1)^{2m} (2m)! \int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jwA} dw \right] =$$

$$= \frac{1}{2mB^{2m}} \left[\sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k}{(jwB)^{2m-k}} K_{q11}^{(2m-k)}(A+B) + (-1)^{2m} (2m)! K_{q11}(A) \right], \quad (13)$$

$$\text{donde } K_{q11}(t) = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{\infty} G(w) e^{jw t} dw, \quad (14)$$

$$K_{q11}^{(2m-k)}(t) = \frac{1}{8p(2m)} \sum_{n=-(N-1)}^{n=N-1} \frac{K_{q11}^{(2m-k)}(t)}{(t_D + t_d n)^{2m-k}} \quad (15)$$

Al regresar por las variables anteriores de la función de correlación y al sustituir (13) en (6) obtenemos la expresión para la función de crosscorrelación de los ruidos de la superficie del mar en la salida de las antenas lineales discretas de orientación vertical:

$$K_{n12}(t, D) = \frac{1}{8p(2m)} \sum_{n=-(N-1)}^{n=N-1} \frac{(N - \frac{1}{2}n)^{\frac{1}{2}}}{(t_D + t_d n)^{2m}} \times \sum_{k=1}^{2m} \frac{C_{2m}^k k!}{(t_D + t_d n)^{2m-k}} K_{q11}^{(2m-k)}[t - t_D - t_d n(1 - \text{sen} q_0)] + (2m)! K_{q11}(t + nt_d \text{sen} q_0) \quad (16)$$

En el caso de $t_D = 0$ ($D=0$) tenemos la función de correlación de los ruidos de la superficie del mar en la salida de una antena lineal discreta de orientación vertical:

$$K_{n11}(t) = \frac{1}{8p(2m)} \sum_{n=-(N-1)}^{n=N-1} \frac{(N - \frac{1}{2}n)^{\frac{1}{2}}}{(t_d n)^{2m}} \times \left\{ \sum_{k=1}^{2m} \frac{C_{2m}^k k!}{(t_d n)^{2m-k}} K_{q11}^{(2m-k)}[t - t_d n(1 - \text{sen} q_0)] + (2m)! K_{q11}(t + nt_d \text{sen} q_0) \right\} \quad (17)$$

En el caso de $n=0$ la expresión (17) tiene una forma indeterminada del tipo 0/0. Eliminaremos dicha forma al encontrar el siguiente límite:

$$\lim_{n \rightarrow 0} \sum_{k=1}^{2m} \frac{C_{2m}^k k!}{(t_d n)^{2m-k}} K_{q11}^{(2m-k)}[t - t_d n(1 - \text{sen} q_0)] + (2m)! K_{q11}(t + nt_d \text{sen} q_0) =$$

$$+ \lim_{n \rightarrow 0} \frac{(2m)! K_{q11}(t + nt_d \text{sen} q_0)}{(t_d n)^{2m}} \quad (18)$$

Al aplicar la regla de L'Hopital k veces por cada elemento de la suma, obtenemos:

$$\lim_{n \rightarrow 0} \left\{ \sum_{k=1}^{2m} \frac{C_{2m}^k k! K_{q11}^{(2m-k)}[t - t_d n(1 - \text{sen} q_0)]}{(t_d n)^k} \right\} + \lim_{n \rightarrow 0} \frac{(2m)! K_{q11}(t + nt_d \text{sen} q_0)}{(t_d n)^{2m}} =$$

$$= - \lim_{n \rightarrow 0} \sum_{k=1}^{2m} \frac{C_{2m}^k k! [-t_d (1 - \text{sen} q_0)]^k K_{q11}^{(2m-k)}[t - t_d n(1 - \text{sen} q_0)]}{k! (t_d n)^k} +$$

$$+ \lim_{n \rightarrow 0} \frac{(t_d \text{sen} q_0)^{2m} K_{q11}^{(2m)}(t + nt_d \text{sen} q_0)}{(t_d n)^{2m}} =$$

$$= \lim_{n \rightarrow 0} \sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k (1 - \text{sen} q_0)^k K_{q11}^{(2m-k)}[t - t_d n(1 - \text{sen} q_0)]}{k! (t_d n)^k} +$$

$$+ \lim_{n \rightarrow 0} \frac{(\text{sen} q_0)^{2m} K_{q11}^{(2m)}(t + nt_d \text{sen} q_0)}{(t_d n)^{2m}} =$$

$$= K_{q11}^{(2m)}(t) \left[\sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k (1 - \text{sen} q_0)^k + (\text{sen} q_0)^{2m}}{k!} \right] \quad (19)$$

Demostramos que:

$$\sum_{k=1}^{2m} \frac{(-1)^{k-1} C_{2m}^k (1 - \text{sen} q_0)^k + (\text{sen} q_0)^{2m}}{k!} = 1 \quad (20)$$

Introducimos una designación $(1 - \text{sen} q_0) = s_0$; entonces $\text{sen} q_0 = s_0 - 1$. Tomando en cuenta estas designaciones podemos escribir:

$$\sum_{k=1}^{2m} \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-1)^{k-1} C_{2m}^k (1-\text{sen}q_0)^k + (\text{sen}q_0)^{2m} =$$

$$= \sum_{k=1}^{2m} \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-1)^{k-1} C_{2m}^k (s_0)^k + (1-s_0)^{2m} =$$

$$= \sum_{k=1}^{2m} \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-s_0)^k + (1-s_0)^{2m} =$$

$$= 1 - \sum_{k=0}^{2m} \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-s_0)^k + (1-s_0)^{2m} . \quad (21)$$

La suma en la última expresión es el binomio de Newton:

$$\sum_{k=0}^{2m} \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-s_0)^k = \sum_{k=0}^{2m} \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} \{1\}^{2m-k} (-s_0)^k = (1-s_0)^{2m} . \quad (22)$$

Entonces (20) ha quedado demostrada, tomando en cuenta (19) y (20) las expresiones para la función de correlación $K_{n11}(t)$ y la varianza de $K_{n11}(0)$ de los ruidos de la superficie del mar en la salida de las antenas la podemos escribir en la siguiente forma:

$$K_{n11}(t) = \frac{1}{8p(2m)} \left\{ \begin{array}{l} n=N-1 \quad (N-\frac{1}{2}n\frac{1}{2}) \\ \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-1)^{k-1} C_{2m}^k (1-\text{sen}q_0)^k + (\text{sen}q_0)^{2m} \\ n=-(N-1), \quad (t_d n)^{2m} \end{array} \right. \times$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 2m \\ -\frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} C_{2m}^k k! (t_d n)^{2m-k} \cdot \\ k=1 \end{array} \right. \cdot$$

$$\cdot K_{q11}^{(2m-k)}[t-t_d n(1-\text{sen}q_0)] +$$

$$+ (2m)! K_{q11}(t+nt_d \text{sen}q_0) \left\{ + N K_{q11}^{(2m)}(t) \right\} , \quad (23)$$

$$K_{n11}(0) = \left\{ \begin{array}{l} n=N-1 \quad (N-\frac{1}{2}n\frac{1}{2}) \\ \frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} (-1)^{k-1} C_{2m}^k (1-\text{sen}q_0)^k + (\text{sen}q_0)^{2m} \\ n=-(N-1), \quad (t_d n)^{2m} \end{array} \right. \times$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 2m \\ -\frac{1}{8p(2m)} \binom{2m}{k} C_{2m}^k k! (t_d n)^{2m-k} K^{(2m-k)}[-t_d n(1-\text{sen}q_0)] + \\ k=1 \end{array} \right. +$$

$$+ (2m)! K_{q11}(nt_d \text{sen}q_0) \left\{ + N K_{q11}^{(2m)}(0) \right\} . \quad (24)$$

Las funciones de crosscorrelación y correlación normalizadas se determinarán por las formulas:

$$K_{n12}(tD) \Big|_{D=\text{const}} R_{n12}(t) = \frac{K_{n12}(t)}{K_{n11}(0)} , \quad (25)$$

$$R_{n11}(t) = \frac{K_{n11}(t)}{K_{n11}(0)} . \quad (26)$$

La representación de los espectros temporales de los ruidos

Las expresiones para las características de correlación de los ruidos de la superficie del mar han sido obtenidas bajo el supuesto de que los factores del grado de directividad de las fuentes elementales no son funciones de la frecuencia. Otra limitación es que los factores de grado $2m$ deben tener valores enteros, en otros palabras para el factor m podemos tener los siguientes valores: $m=0.5; 1; 1.5; \dots v/2$, donde v es un número natural.

Introducimos una forma especial de representación del espectro de los ruidos en la salida de un canal receptor de una antena del sistema de correlación:

$$G(w) = G_1(w) F_1^2(w) F_2^2(w), \quad (27)$$

donde

$G_1(w)$ es un espectro de excitación de los ruidos dinámicos del mar,

$F_1^2(w)$ la característica de los filtros de los canales receptores de las antenas del sistema de correlación, y

$F_2^2(w)$ la característica de un filtro de frecuencias altas, la que no tiene influencia en el espectro de las señales pero permite simplificar demasiado las expresiones para el cálculo de las características de correlación.

Establecemos las siguientes descripciones de las características espectrales:

$$G_1(w) = \frac{(a_1 a)^2}{w^2 + (a_1 a)^2}, \quad (28)$$

$$F_1(w) = \frac{w^4 (a_4 a)^2}{\prod_{i=2}^4 [w^2 + (a_i a)^2]}, \quad (29)$$

$$F_2(w) = \frac{w^{2s}}{\prod_{i=1}^s [w^2 + (b_i a)^2]}, \quad (30)$$

Donde a_i , $i=1,2,3,4$ son coeficientes del espectro $G_1(w)$ y del filtro $F_1(w)$;

b_i , $i=1,...,s$ son coeficientes del filtro $F_2(w)$;

$s = [m - 1.5]$, $m > 2$, signo [...] determina la parte entera de un número;

m es el factor de grado de directividad de los ruidos de la superficie;

a una frecuencia que caracteriza el espectro $G_1(w)$ y los filtros $F_1(w)$, $F_2(w)$.

Al sustituir (28), (29) y (30) en (27) obtenemos una expresión para el espectro temporal de los ruidos del mar en las salidas de los canales receptores de las antenas:

$$G(w) = \frac{w^{4+2s} (a_1 a)^2 (a_4 a)^2}{\prod_{i=1}^{4+s} [w^2 + (a_i a)^2]}. \quad (31)$$

Al sustituir (31) en (14) y al integrar obtenemos la siguiente expresión:

$$K_{q11}(t) = \frac{(-1)^{2+s-2m} a_1^2 a_4^2}{2a^{1+2m}} \times \frac{\prod_{i=1}^{4+s} a_i^{3+2s-2m} \exp(-a_i a^2 t/2)}{\prod_{k=1}^{4+s} (a_i^2 - a_k^2)}, \quad (32)$$

La derivada de orden n de la función de correlación $K_{q11}(t)$ tendrá la expresión:

$$K_{q11}^{(n)}(t) = \frac{(-1)^{2+s-2m+n} a_1^2 a_4^2 [\text{sign}(t)]^n}{2a^{1+2m-n}} \times$$

$$\times \frac{\prod_{i=1}^{4+s} a_i^{3+2s-2m+n} \exp(-a_i a^2 t/2)}{\prod_{k=1}^{4+s} (a_i^2 - a_k^2)}. \quad (33)$$

Coeficiente de transferencia de los ruidos de la superficie del mar por la antena

La efectividad de filtración del campo de los ruidos del mar por una antena con directividad podemos caracterizarla por medio de comparar la varianza de los ruidos en la salida de una antena con directividad con la varianza de los ruidos en la salida de una antena sin directividad. Introducimos el coeficiente de transferencia de los ruidos por una antena como una razón de la varianza de los ruidos en la salida de una antena discreta lineal con N elementos a la varianza de los ruidos en la salida de una

antena sin directividad con la misma cantidad de elementos receptores (todos los elementos se concentrarán en el centro geométrico de la antenna). De esta manera el coeficiente se determina por la siguiente expresión:

$$B_n = \frac{K_{n11}(0)}{t_d^{\otimes 0}} \quad (34)$$

Encontramos el denominador de la expresión (34). Podemos ver que el denominador es la expresión (17) con una condición $t_d^{\otimes 0}$. En caso de $t_d=0$ la expresión (17) tiene una forma indeterminada tipo $0/0$. Al analizar (17) podemos ver que la evaluación de la forma indeterminada se realiza de manera análoga al caso $n=0$ para la expresión (17). Al realizar de manera sucesiva las operaciones de diferenciación de los numeradores y denominadores de cada elemento de la suma de la expresión (17) obtenemos la siguiente expresión:

$$\lim_{t_d \rightarrow 0} K_{n11}(0) = \frac{N^2 K_{q11}^{(2m)}(0)}{8p(2m)} \quad (35)$$

Al sustituir (35) en (34) obtenemos la expresión para el coeficiente de transferencia de los ruidos de la superficie del mar por la antenna discreta lineal con N elementos receptores y una orientación vertical:

$$B_n = \frac{8p(2m)K_{n11}(0)}{N^2 K_{q11}^{(2m)}(0)} \quad (36)$$

Frecuencias, banda de las frecuencias y la forma de la función de correlación

El espectro de los ruidos del mar se describe por regla mediante una característica con inclinación de alrededor de 6 dB/Okt después de la frecuencia 1 kHz (Furduiev 1974), y se puede determinar por la expresión (28), donde el valor a_1 es una frecuencia del principio de inclinación. Si ponemos $a_1=0.2$ y $a=p \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$, la expresión (28) determinará el espectro de los ruidos dinámicos del mar.

Formamos una característica espectral de los canales receptores que permita obtener en la salida de un correlador una función de correlación con solo un máximo. Para este objetivo utilizamos el filtro con la característica que se describe por la expresión (29). Asignamos los siguientes valores a los parámetros del filtro $F_1(w)$: $a_2=1.0$; $a_3=1.01$; $a_4=2.0$ y $a=p \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$. En este caso para los ruidos del mar tendremos la función de correlación temporal normalizada R_{n11} que se representa en la figura 4 (R_{n11} se representa como la función del parámetro sin dimensión $x_t=at$).

Las fuentes con alta localización tendrán la misma forma de la función de crosscorrelacion en el caso de los elementos receptores indireccionales, o en la salida de las antenas direccionales el en caso de compensación de las antenas en dirección hacia las fuentes de las señales. Las funciones de crosscorrelacion que tienen la forma mencionada se pueden usar en calidad de parámetros informativos en los sistemas de información.

El filtro cuya característica se describe mediante la expresión (30) tiene un papel auxiliar, y si damos valores a los coeficientes b_i ($i=1,2,...s$) de orden 10^{-3} la función de correlación en la salida del correlador debe repetir la forma de la función de la figura 4.

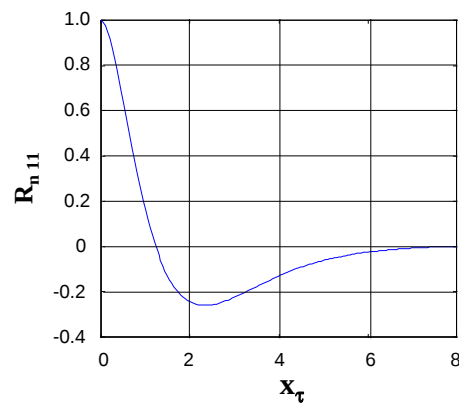


FIGURA 4.

FUNCIÓN DE CORRELACIÓN DE LOS RUIDOS DEL MAR
CON ESPECTRO $G_1(w)$ EN LA SALIDA DEL FILTRO $F_1(w)$;
 $a_1=0.2$; $a_2=1.0$; $a_3=1.01$; $a_4=2.0$ y $a = p \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$.

Evaluación de la efectividad de la filtración del campo de los ruidos por las antenas receptoras

El coeficiente B_n es una función de los siguientes parámetros: del paso de las antenas d , del número de los elementos receptores en las antenas N , del ángulo de compensación q_0 de las antenas, del grado de directividad de las fuentes de la superficie del mar m . Resumiendo: $B_n = B_n(d, N, q_0, m)$. El tamaño lineal (la longitud) L_a de las antenas lineales discretas se determina por los parámetros N y d , y se expresa como $L_a = (N-1)d$. En adelante utilizamos el parámetro L_a para caracterizar la longitud de las antenas en lugar de N . Adicionalmente en lugar del coeficiente de transferencia de los ruidos por la antena B_n en adelante utilizamos el coeficiente B_n^{-1} como un valor más apropiado para evaluar el grado de supresión de los ruidos.

Investigamos B_n^{-1} como una función de q_0 , $B_n^{-1} = B_n^{-1}(q_0)$ para diferentes valores de los parámetros d , L_a , m .

En la figura 5 representamos la gráfica de la función $B_n^{-1} = B_n^{-1}(q_0)$ para una antena con longitud $L_a = 12\pi c/a$, coeficiente $m=2$ y con diferentes valores de paso: $d = \pi c/a$, $\pi c/2a$, $\pi c/4a$, $\pi c/8a$. Para $c=1500\text{m/s}$, $a = p \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ tendremos los siguientes valores para la longitud y el paso de la antena: $L_a = 1.8\text{m}$, $d = 0.15\text{m}$, 0.075m , 0.01875m .

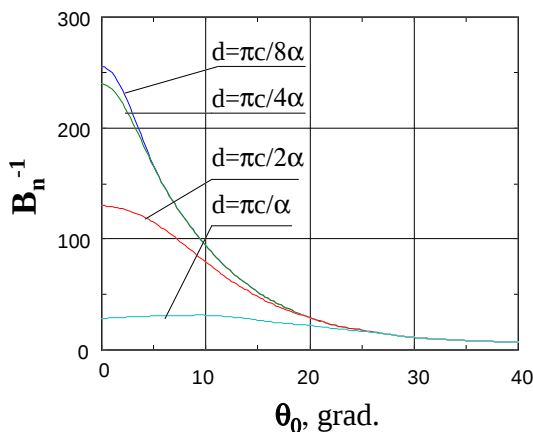


FIGURA 5. EFECTO DEL PASO DE LA ANTENA EN EL COEFICIENTE DE SUPRESIÓN DE LOS RUIDOS B_n^{-1} ; $L_a = 12\pi c/a$; $m=2$.

En la figura 6 se representan las gráficas de la función $B_n^{-1} = B_n^{-1}(q_0)$ para una antena con diferentes valores de longitud: $L_a = 6\pi c/a$, $12\pi c/a$, $24\pi c/a$ y los valores de otros parámetros son $d = \pi c/(2a)$, $m=2$.

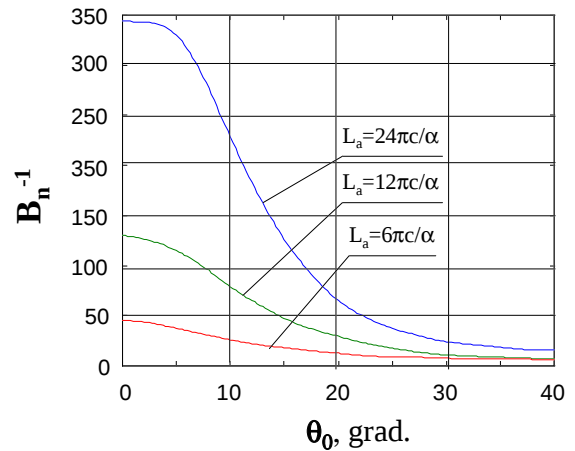


FIGURA 6. EFECTO DEL TAMAÑO DE ANTENA EN EL COEFICIENTE DE SUPRESIÓN DE LOS RUIDOS B_n^{-1} ; $d = \pi c/(2a)$; $m=2$.

En la figura 7 se representan las gráficas de la función $B_n^{-1} = B_n^{-1}(q_0)$ para una antena con longitud $L_a = 12\pi c/a$ con $d = \pi c/(2a)$ y diferentes valores del coeficiente de directividad de los ruidos de la superficie del mar $m=1, 2, 3$.

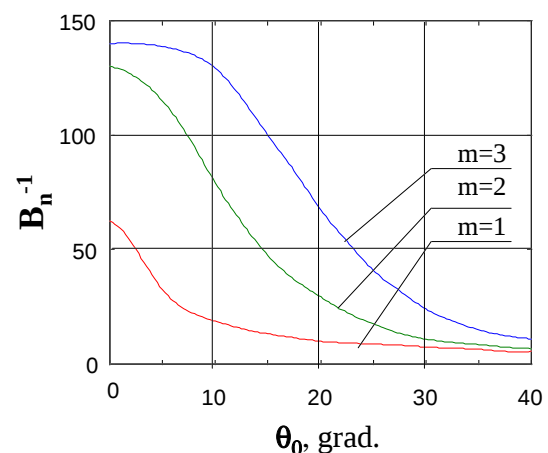


FIGURA 7. EFECTO DE LA DIRECTIVIDAD DE LAS FUENTES DE LA SUPERFICIE EN EL COEFICIENTE B_n^{-1} ; $L_a = 12\pi c/a$; $d = \pi c/(2a)$.

Las curvas en la figura 5 muestran que en este diapasón de ángulos el coeficiente B_n^{-1} depende demasiado del

valor del paso de las antenas. Por ejemplo, para una antena con longitud 12pc y con $q_0=0$ la reducción del paso de la antena en dos veces (de $pc/(2a)$ a $pc/(4a)$) aumenta el valor de B_n^{-1} en 1.9 veces. La reducción posterior del paso de la antena prácticamente no lleva a un aumento de B_n^{-1} (Ver. figura 5). Podemos considerar la reducción del paso de la antena como una aproximación de una antena discreta a una antena continua (si $L_a=const$ y $d \rightarrow 0$ tenemos una antena continua). En base a las gráficas de la figura 5 y de acuerdo a un diapasón de los ángulos del funcionamiento del sistema podemos elegir el paso de la antena. Por ejemplo, en el diapasón $q_0 \in [0..10^\circ]$ el paso de la antena podemos tomarla como $pc/(4a)$. Para una aplicación en un diapasón de los ángulos de compensación de mas de 10° podemos usar las antenas con paso $pc/(2a)$.

Las características de la figura 6 muestran que el aumento del tamaño de las antenas (con un paso constante) causa el aumento de los valores del coeficiente B_n^{-1} ya que la directividad de las antenas se incrementa y el campo lateral de las mismas disminuye. De acuerdo a las gráficas la supresión de los ruidos para diferentes tamaños de antenas resulta más efectiva en un diapasón de 0 a $15..20$ grados.

Las características en la figura 7 reflejan la influencia de la directividad de los ruidos de la superficie en el coeficiente B_n^{-1} . Las características muestran que la influencia del coeficiente m en la supresión de los ruidos es esencial en un diapasón de ancho: $q_0 \in [0..30^\circ]$; los valores del coeficiente B_n^{-1} dependen del estado de la superficie del mar y pueden distinguirse en 3-4 veces para el mismo valor del ángulo q_0 .

El análisis de las características representadas permite establecer las siguientes conclusiones:

- los valores del coeficiente B_n^{-1} dependen en grado significativo de la directividad (tamaño lineal) de la antena, del paso de la antena y del factor del grado de directividad de los ruidos de la superficie del mar;

- el coeficiente de supresión de los ruidos B_n^{-1} aumenta con la disminución del paso de la antena y tiene los valores máximos para antenas discretas, las cuales tienen características parecidas a las de las antenas continuas;
- la supresión de los ruidos más efectiva se encuentra en un diapasón que comprende ángulos de compensación de 0° al 20° grados.

Características de correlación de los ruidos de la superficie del mar en la salida de las antenas

Para realizar el funcionamiento efectivo de un sistema de correlación es necesario tener en la salida del sistema los niveles de correlación de los ruidos en orden a las fluctuaciones de las funciones de correlación.

Determinamos las condiciones de discorrelacion de los ruidos de la superficie del mar en la salida de las antenas. Investigamos la influencia en las funciones de crosscorrelacion $R_{n12}(t)$ de los siguientes parámetros: el tamaño lineal de las antenas receptoras, L_a ; el grado de distribución de las antenas en el espacio, $B_L = D/L_a$; el paso de las antenas, d ; el grado de directividad de los ruidos de la superficie del mar, m ; y el ángulo de compensación de las antenas receptoras, q_0 .

Los resultados del cálculo de las características $R_{n12}(t)$ se representan en las figuras 8, 9, 10 y 11. Todas las características han sido desarrolladas como funciones del parámetro sin dimensión $x = x_t - B_L x_0$, donde $x_t = at$, $x_0 = at_D \sin q_0$.

En la figura 8 se muestran los resultados del cálculo de la influencia del grado de distribución vertical B_L de las antenas para los siguientes valores de los parámetros: $d = pc/(2a)$; $q_0 = 10^\circ$; $m=2$; $L_a = 12pc/a$ (fig. 8,a $B_L = N/(N-1)$, 1.25, 1.5, 2.0) y $d = pc/(2a)$; $q_0 = 10^\circ$; $m=2$; $L_a = 24pc/a$ (fig. 8,b $B_L = N/(N-1)$, 1.25).

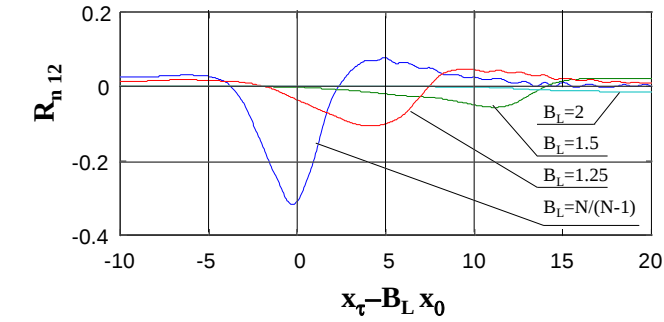
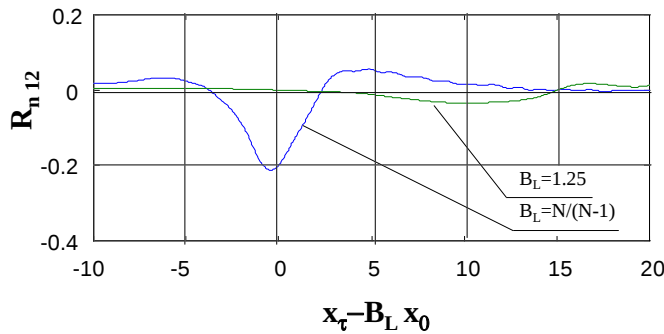
a) TAMAÑO LINEAL DE LAS ANTENAS: $L_a = 12 \text{ pc/a}$ b) TAMAÑO LINEAL DE LAS ANTENAS: $L_a = 24 \text{ pc/a}$

FIGURA 8. EFECTO DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ANTENAS
EN EL ESPACIO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE CORRELACIÓN
 $R_{n12}(t)$; $d = \text{pc}/(2a)$; $m=2$; $q_0 = 10^\circ$.

Los resultados del cálculo muestran que para las distribuciones cortas de las antenas (como $B_L = N/(N-1)$) las características de correlación R_{n12} tienen un evidente máximo negativo. Con el incremento del valor del parámetro B_L los niveles de correlación de los ruidos disminuyen. El análisis del efecto del parámetro B_L para diferentes tamaños de las antenas muestra que para obtener niveles bajos de correlación de los ruidos es necesario tener la distribución entre los elementos receptores más cercanos de las antenas, debe ser más que una distancia mínima. Designamos la distancia entre el elemento más abajo de la antena AR_i y el elemento más de alto de antena AR_{ii} como G_a . Podemos ver que en todo diapasón de los retardos de tiempo el valor de correlación de los ruidos no es mayor que 0.05 en amplitud si $G_a \geq 6 \text{ pc/a}$ ($B_L \geq 1.5$ para antenas con $L_a = 12 \text{ pc/a}$ (fig. 8,a), $B_L \geq 1.25$ para antenas con $L_a = 24 \text{ pc/a}$ (fig. 8,b)). Es importante apuntar

que el diapasón principal de las retenciones de tiempo del funcionamiento del sistema es un diapasón de variación del parámetro $x = x_t - B_L x_0$ alrededor de cero (en el caso de la compensación de las antenas en la dirección de la fuente de señales de operación). Aproximadamente este es un diapasón $-4 \leq x_t - B_L x_0 \leq 4$ (el ángulo para la fuente y el ángulo de compensación difieren no más de 5°). Para las antenas con $L_a = 12 \text{ pc/a}$ y distribución $G_a \geq 6 \text{ pc/a}$ ($B_L \geq 1.5$) tenemos $\frac{1}{2} R_{n12} \leq 0.01$ en un diapasón $-10 \leq x_t - B_L x_0 \leq 3$. Para antenas con $L_a = 24 \text{ pc/a}$ y distribución $G_a \geq 6 \text{ pc/a}$ ($B_L \geq 1.25$) tenemos $\frac{1}{2} R_{n12} \leq 0.01$ en un diapasón $-10 \leq x_t - B_L x_0 \leq 6$.

La investigación del efecto de valor del paso de las antenas en las características de correlación R_{n12} se realiza para $L_a = 12 \text{ pc/a}$, $B_L = 1.25$, $q_0 = 10^\circ$, $m=2$. En la figura 9 se representan las funciones R_{n12} para los valores del paso $d = 2 \text{ pc/a}$, pc/a , $\text{pc}/(2a)$, $\text{pc}/(4a)$.

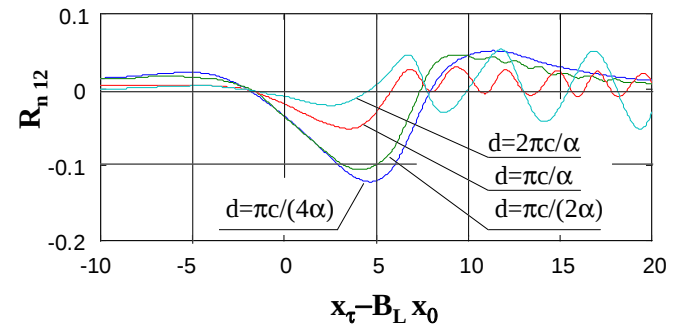


FIGURA 9. EFECTO DEL PASO DE LAS ANTENAS
EN LAS CARACTERÍSTICAS DE CORRELACIÓN
 $R_{n12}(t)$; $L_a = 12 \text{ pc/a}$; $B_L = 1.25$; $m=2$; $q_0 = 10^\circ$.

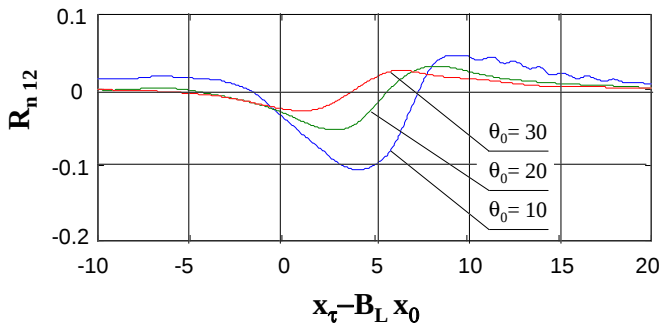
Las características en la figura 9 muestran que R_{n12} en la salida de las antenas con un paso grande pueden tener oscilaciones, un periodo de las oscilaciones se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$T_0 = t_d (1 - \sin q_0) \quad (37)$$

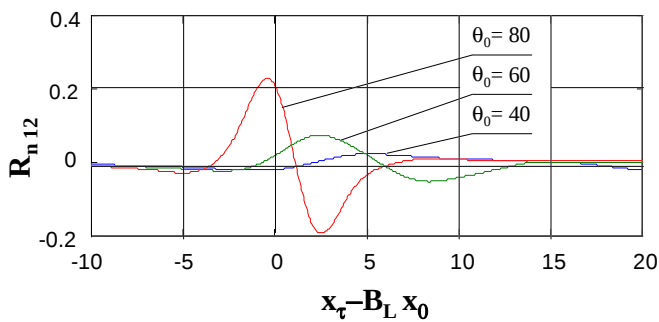
Con la disminución del paso de las antenas el periodo y la amplitud de las oscilaciones disminuyen, y por fin las oscilaciones desaparecen. Podemos ver que la función R_{n12} no tiene oscilaciones en el caso $d = \text{pc}/(4a)$ en todo diapasón

de retenciones de tiempo. Introducimos un periodo de las oscilaciones como un parámetro sin dimensión: $X_0 = aT_0$. El análisis de las oscilaciones de las características de correlación en la salida de las antenas discretas muestra que el periodo X_0 prácticamente no puede ser menor a 1 (Ver figuras 8 y 9). Entonces podemos introducir un valor $X_{0min} = 1$ como una frontera de la aparición de las oscilaciones en las características de correlación. Al usar la expresión (37) y el valor de frontera $X_{0min} = 1$, podemos escribir una expresión para elegir el paso de las antenas para excluir la aparición de oscilaciones en las características de correlación:

$$d < \frac{c}{a(1 - \sin q_0)} \quad (38)$$



a) ÁNGULOS DE COMPENSACIÓN
DE LAS ANTENAS $q_0 = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$



b) ÁNGULOS DE COMPENSACIÓN
DE LAS ANTENAS $q_0 = 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$

FIGURA 10. EFECTO DE COMPENSACIÓN

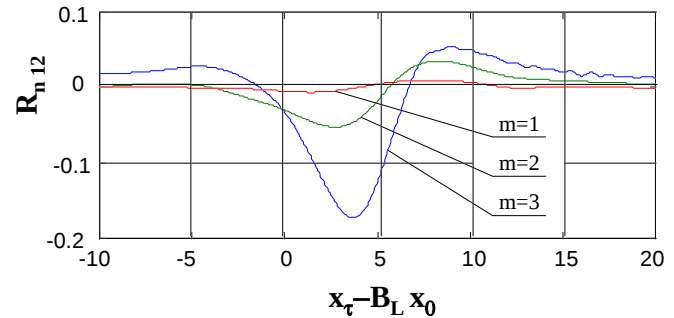
DE LAS ANTENAS RECEPTORES EN LAS CARACTERÍSTICAS

DE CORRELACIÓN $R_{n12}(t)$; $L_a = 12pc/a$; $d = pc/(2a)$; $B_L = 1.25$; $m = 2$.

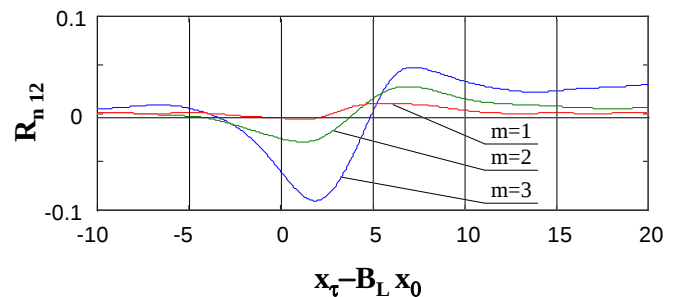
La investigación del efecto de compensación de las antenas receptores en las características de correlación $R_{n12}(t)$ se realiza para $L_a = 12pc/a$, $B_L = 1.25$, $d = pc/(2a)$, $m = 2$. En la figura 10 se representan las funciones para los valores del ángulo de compensación $q_0 = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$.

El análisis del efecto de compensación de las antenas en las características de correlación muestra que la discorrelación máxima de los ruidos de la superficie del mar tiene lugar en un diapasón comprendido entre los ángulos q_0 de 20° a 40° ; los niveles altos de correlación para ángulos q_0 como 80° se explican por el acercamiento de los centros de fase de las antenas.

Las investigaciones del efecto del parámetro m en las características R_{n12} han sido realizadas para las antenas $L_a = 12pc/a$ y con paso $d = pc/(2a)$, distribución relativa $B_L = 1.25$ y ángulos de compensación $q_0 = 20^\circ, 30^\circ$. Han sido investigados los valores del parámetro de directividad $m = 1, 2, 3$. Los resultados del cálculo se representan en la figura 11.



a) ÁNGULO DE COMPENSACIÓN $q_0 = 20^\circ$



b) ÁNGULO DE COMPENSACIÓN $q_0 = 30^\circ$

FIGURA 11. EFECTO DE LA DIRECTIVIDAD DE LOS RUIDOS DE LA SUPERFICIE

EN LAS CARACTERÍSTICAS DE CORRELACIÓN $R_{n12}(t)$; $L_a = 12pc/a$; $d = pc/(2a)$; $B_L = 1.25$

Las curvas representadas muestran que con un aumento del parámetro m el nivel de correlación de los ruidos en la salida de las antenas se incrementa. Para $m=1$ tenemos la discorrelación de los ruidos prácticamente en todo diapasón de las retenciones de tiempo para los ángulos presentados de compensación de las antenas.

Conclusión

En el presente artículo se han considerado las características de correlación de los ruidos de la superficie del mar en la salida de un sistema de correlación con elementos receptores direccionales. En calidad de un modelo del campo de los ruidos de la superficie del mar ha sido tomada en cuenta una distribución infinita de las fuentes no coherentes con directividad en plano vertical. Hemos considerado una orientación vertical de la base receptora y las antenas receptoras. Por otra parte, se han obtenido las expresiones para calcular el coeficiente de transferencia de los ruidos de la superficie del mar por las antenas receptoras y las expresiones para calcular las funciones de correlación y crosscorrelación de los ruidos en la salida de las antenas. En la base de las expresiones obtenidas hemos investigado la efectividad de supresión de los ruidos de la superficie del mar y también las características de correlación de los ruidos en la salida de las antenas. Todos los resultados se han obtenido para el caso de los rui-

dos con un espectro de banda ancha los cuales tienen la función de correlación con un solo máximo. Las formas de las expresiones de cálculo permite cambiar los diapasones de frecuencias por medio de la asignación de parámetros de características espectrales. Se ha establecido que la supresión del componente de la superficie de los ruidos del mar por medio de antenas direccionales verticales es más efectiva en un diapasón de los ángulos de compensación de 0° a 20° , y se ha demostrado que las características obtenidas de supresión se pueden usar para elegir los valores del paso de las antenas receptoras. Se han establecido las condiciones de discorrelación de los ruidos en la salida de las antenas por medio de la distribución de las antenas en el espacio. Se ha demostrado que la distribución de las antenas en el espacio no debe ser menor que una distancia mínima que se determina por el espectro de las señales en las salidas de los canales de las antenas. Por último, se ha demostrado que para dichas condiciones los valores de crosscorrelación de los ruidos no sobrepasan el nivel 0.01 en los diapasones operativos de los ángulos de compensación y retardos de tiempo, y se ha obtenido la expresión para elegir el paso de las antenas receptoras para obtener las características planas de correlación en la salida de las antenas. Los resultados presentados se pueden usar en el diseño de sistemas de correlación subacuáticos para los casos de manipulación por las señales operativas débiles de banda ancha **T**

Bibliografía

BENDAT S. JULIUS.

1958 *Principles and Application of Random Noise Theory*. New York, John Wiley & Sons, Inc.

DAVENPORT B., WILBUR Y WILLIAM ROOT

1958 *An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise*. New-York, McGraw-Hill Book Company, Inc.

ARKHIPOV M.A.

1997 *Un Sistema de Correlación Pluricanal para Detectar Señales en Presencia de Ruidos donde Ambos*

Tienen Espectros Idénticos. TEMAS de ciencia y tecnología, revista de la UTM, vol.1, Número 3, pp. 3-9.

FURDUEV A.V.

1974 *Shumy Okeana. V kn. Akustika Okeana*. Pod. red. Brekhovskih L.M., Moskva, Nauka.

GRADSCHEYN I.S., RYZHIK I.W.

1965 *Tables of Integrals, Series, and Products*. Academic Press, New-York.