ИЗВЕСТИЯ РАН. ТЕОРИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, 2019, № 4, с. 99–105

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 621.396.01

# ЗАМЕЩЕНИЕ СЛОЖНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЪЕКТА ДВУХТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛЬЮ

© 2019 г. А. В. Киселев[a], М. А. Степанов[a,*]

[a]Новосибирский государственный технический ун-т, Новосибирск, Москва

*e-mail: m.stepanov@corp.nstu.ru

Поступила в редакцию 01.10.18 г.
После доработки 21.12.18 г.
Принята к публикации 28.01.19 г.

Рассмотрена задача моделирования угловых шумов распределенных радиолокационных объектов. Получены аналитические соотношения, определяющие корреляционные функции угловых шумов многоточечного объекта и его геометрической модели, составленной из виртуальных излучателей. Определены условия, при которых обеспечивается равенство указанных корреляционных функций. Показано, что геометрические модели, составленные из виртуальных излучателей, способны адекватно замещать отражения от распределенных радиолокационных объектов по критерию равенства корреляционных функций и функции распределения угловых шумов модели и объекта.

**DOI:** 10.1134/S0002338819040061

**Введение.** За редким исключением реальные радиолокационные объекты представимы в виде совокупности большого числа (обозначим его $N$) точечных отражателей, распределенных по его поверхности или объему [1, 2]. Для их описания используют функцию распределения плотности авто- и взаимной корреляции, определяющие корреляционные свойства одноименных (обозначим ее $F_R(x,y,z,\tau)$) и разноименных ($F_S(x,y,z,\tau)$) квадратур эхосигналов от точек с координатами $x$, $y$, $z$, $\tau$ – временная переменная корреляционной функции.

Моделирование такого объекта подразумевает воспроизведение эхо-сигналов для всех $N$ точек, что в ряде случаев затруднено. В первую очередь при реализации модели в виде набора излучающих антенн.

Однако можно рассмотреть альтернативное решение. Заключается оно в следующем. Как известно [1, 3], синфазное излучение из двух точек, не разрешаемых по угловым координатам, воспринимается как единый источник – кажущийся центр излучения. Его положение определяется отношением амплитуд излучаемых сигналов. Для сложного объекта таких центров излучения должно быть $N$ – по числу его отражающих точек. Для этого к излучателям модели должны подводиться сигналы, представляющие собой при достаточно большом количестве точек объекта нормальные случайные процессы:

$$\begin{cases} s_{\text{м}1}(t) = \sum_{i=1}^{N} \sigma_{1i} s_{\infty i}(t); \\ s_{\text{м}2}(t) = \sum_{i=1}^{N} \sigma_{2i} s_{\infty i}(t), \end{cases}$$

где $s_{\text{м}1}(t)$, $s_{\text{м}2}(t)$ – сигналы, подводимые к первой и второй точкам модели соответственно; $s_{\infty i}(t)$ – нормированный к единичной дисперсии сигнал, отраженный от $i$-й точки объекта; $\sigma_{1i}$, $\sigma_{2i}$ – среднеквадратические отклонения (СКО) сигналов, отношение которых определяется обобщенной координатой замещаемой точки объекта.

В результате, как показано в [4], модель будет формировать совокупность центров излучения, имитирующих отражающие точки замещаемого объекта. Вместе с тем остается открытым вопрос о том, насколько достоверно такая модель воспроизводит угловые шумы замещаемого объекта.

Цель настоящей работы: обосновать адекватность геометрических моделей, составленных из виртуальных излучающих точек, по критерию равенства функций распределения и корреляционных функций угловых шумов модели и замещаемого объекта.

**1. Общие соотношения, определяющие вероятностные характеристики углового шума.** Традиционно [1, 2] угловые шумы характеризуются плотностью распределения вероятности, а также корреляционной функцией. Плотность распределения вероятности определяется выражением [1]

$$w(\Delta\xi) = \frac{\mu}{2(1+\mu^2\Delta\xi^2)^{3/2}},$$

где $\mu$ – параметр, характеризующий ширину распределения; $\Delta\xi = m - \xi$ – отклонение обобщенной координаты $\xi$ от среднего значения $m$.

Корреляционная функция угловых шумов [1]

$$B_v(\tau) = D_1(\tau) + D_2(\tau) + D_3(\tau),$$

где

$$D_1(\tau) = \frac{a_B(\tau)}{\mu^2 a_H(\tau)}\cos(\gamma_H(\tau) - \gamma_B(\tau))\ln\left(\frac{1}{\sqrt{1-a_H^2(\tau)}}\right),$$

$$D_2(\tau) = \frac{-a_{BH}(\tau)}{\mu^2 a_H(\tau)}\cos(2\gamma_H(\tau) - 2\gamma_{BH}(\tau))\ln\left(\frac{1}{\sqrt{1-a_H^2(\tau)}}\right),$$

$$D_3(\tau) = \frac{a_{BH}^2(\tau)\cos^2(\gamma_H(\tau) - \gamma_{BH}(\tau))}{\mu^2(1-a_H^2(\tau))}, \quad \gamma_H(\tau) = \operatorname{arctg}\left(\frac{s_H(\tau)}{r_H(\tau)}\right),$$

$$\gamma_{BH}(\tau) = \operatorname{arctg}\left(\frac{s_{BH}(\tau)}{r_{BH}(\tau)}\right), \quad \gamma_B(\tau) = \operatorname{arctg}\left(\frac{s_B(\tau)}{r_B(\tau)}\right), \quad a_H(\tau) = \sqrt{r_H^2(\tau) + s_H^2(\tau)},$$

$$a_{BH}(\tau) = \sqrt{r_{BH}^2(\tau) + s_{BH}^2(\tau)}, \quad a_B(\tau) = \sqrt{r_B^2(\tau) + s_B^2(\tau)},$$

$$R_H(\tau) = \iiint_V F_R(\xi, y, z, \tau)\, d\xi dy dz, \quad S_H(\tau) = \iiint_V F_S(\xi, y, z, \tau)\, d\xi dy dz,$$

$$R_B(\tau) = \iiint_V (\xi - m)^2 F_R(\xi, y, z, \tau)\, d\xi dy dz, \quad S_B(\tau) = \iiint_V (\xi - m)^2 F_S(\xi, y, z, \tau)\, d\xi dy dz,$$

$$R_{BH}(\tau) = \iiint_V (\xi - m) F_R(\xi, y, z, \tau)\, d\xi dy dz, \quad S_{BH}(\tau) = \iiint_V (\xi - m) F_S(\xi, y, z, \tau)\, d\xi dy dz,$$

$$m = \frac{\iiint_V \xi F_R(\xi, y, z, 0)\, d\xi dy dz}{\iiint_V F_R(\xi, y, z, 0)\, d\xi dy dz}, \quad \mu = \frac{\sigma_H}{\sigma_B}, \quad \sigma_H^2 = R_H(0), \quad \sigma_B^2 = R_B(0).$$

Интегрирование по координатам ведется в пределах объема объекта. Так как визирование объекта может производиться не вдоль осей системы координат, используемой при задании объекта, при интегрировании произведена замена переменной $x$ на обобщенную координату $\xi$.

**2. Модель объекта, составленная из большого количества точек.** Рассмотрим одномерный радиолокационный объект, образуемый совокупностью отражающих точек, распределенных вдоль прямой линии. Функцию распределения плотности авто- и взаимной корреляции для такого объекта можно записать в виде

$$\begin{cases} F_R(\xi, \tau) = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2 r(\xi_i, \tau)\,\delta(\xi - \xi_i); \\ F_S(\xi, \tau) = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2 r_s(\xi_i, \tau)\,\delta(\xi - \xi_i), \end{cases}$$

где $\sigma_i^2$ – дисперсия сигнала, отраженного от $i$-й точки; $r(\xi_i,\tau)$, $r_s(\xi_i,\tau)$ – коэффициенты авто- и взаимной корреляции квадратурных составляющих сигнала, отраженного от $i$-й точки; $\xi_i$ – обобщенная координата $i$-й точки; $\delta(\xi)$ – дельта-функция.

Для такого объекта [1]

$$R_H(\tau) = \int_\xi F_R(\xi,\tau)\,d\xi = \int_\xi \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 r(\xi,\tau)\,\delta(\xi-\Delta\xi_i)d\xi = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 r(\Delta\xi_i,\tau).$$

Аналогично

$$R_B(\tau) = \int_\xi (\xi-m)^2 F_R(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i-m)^2\sigma_i^2 r(\Delta\xi_i,\tau);$$

$$R_{BH}(\tau) = \int_\xi (\xi-m) F_R(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i-m)\sigma_i^2 r(\Delta\xi_i,\tau);$$

$$S_H(\tau) = \int_\xi F_S(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 r_S(\Delta\xi_i,\tau);$$

$$S_B(\tau) = \int_\xi (\xi-m)^2 F_S(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i-m)^2\sigma_i^2 r_S(\Delta\xi_i,\tau);$$

$$S_{BH}(\tau) = \int_\xi (\xi-m) F_S(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i-m)\sigma_i^2 r_S(\Delta\xi_i,\tau).$$

Параметры плотности распределения вероятности угловых шумов ($m$ и $\mu$) равны:

$$m = \frac{\int_\xi \xi F_R(\xi,0)\,d\xi}{\int_\xi F_R(\xi,0)\,d\xi} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta\xi_i\sigma_i^2}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2};$$

$$\mu^2 = \frac{\sigma_H^2}{\sigma_B^2} = \frac{\int_\xi F_R(\xi,0)\,d\xi}{\int_\xi (\xi-m)^2 F_R(\xi,0)\,d\xi} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i-m)^2\sigma_i^2}.$$

**3. Двухточечная модель объекта.** Перейдем к двухточечной модели. Кроме того, для уменьшения громоздкости выкладок перейдем к нормированным координатам. Нормировку проведем на угловой размер модели. В этом случае обобщенные координаты излучающих точек модели равны $\xi_1 = -1$ и $\xi_2 = 1$. Для модели $F_R(\xi,\tau)$ можно записать в виде

$$F_R(\xi,\tau) = F_{R(2)}(\xi,\tau) = \sum_{i=1}^N \sigma_{1i}^2 r(\xi_i,\tau)\,\delta(\xi-\xi_1) + \sum_{i=1}^N \sigma_{2i}^2 r(\xi_i,\tau)\,\delta(\xi-\xi_2) + \\ + \sum_{i=1}^N \sigma_{1i}\sigma_{2i}\left(\delta(\xi-\xi_1)+\delta(\xi-\xi_2)\right),$$

где $\sigma_{1i}^2$, $\sigma_{2i}^2$ – дисперсии сигналов, излучаемых первой и второй точками. Здесь и далее индекс 2 означает принадлежность функции или параметра двухточечной модели.

В этом выражении первое слагаемое определяет излучение из первой точки, второе – из второй, третье – учитывает статистическую взаимосвязь излучаемых сигналов. Дисперсии излучаемых сигналов определяются решением системы уравнений (первое уравнение обеспечивает равенство мощностей сигналов модели и замещаемого объекта; второе – равенство обобщенных координат кажущегося центра излучения и замещаемой точки объекта [1]):

$$\begin{cases} \sigma_{1i}^2 + 2\sigma_{1i}\sigma_{2i} + \sigma_{2i}^2 = \sigma_i^2; \\ z_{12i}^2 = \dfrac{\sigma_{1i}^2}{\sigma_{2i}^2} = \left(\dfrac{1-\Delta\xi_i}{1+\Delta\xi_i}\right)^2, \end{cases} \tag{3.1}$$

где $\Delta\xi_i = (\xi_0 - \xi_i)$ – отклонение положения имитируемого излучателя от геометрического центра двухточечной модели (его положение обозначим через $\xi_0$).

Решив систему (3.1), получим

$$\begin{cases} \sigma_{1i}^2 = \dfrac{\sigma_i^2 z_{12i}^2}{(1+z_{12i})^2}; \\ \sigma_{2i}^2 = \dfrac{\sigma_i^2}{(1+z_{12i})^2}. \end{cases}$$

С учетом корреляционной взаимосвязи сигналов, дисперсии сигналов, излучаемых из точек модели, определяются [5, 6]:

$$\begin{cases} \sigma_{e1i}^2 = \sigma_{1i}^2 + \sigma_{1i}\sigma_{2i}; \\ \sigma_{e2i}^2 = \sigma_{2i}^2 + \sigma_{1i}\sigma_{2i}. \end{cases}$$

Тогда

$$F_{R(2)}(\xi,\tau) = \sum_{i=1}^{N} \sigma_{e1i}^2 r(\xi_i,\tau)\,\delta(\xi-\xi_1) + \sum_{i=1}^{N} \sigma_{e2i}^2 r(\xi_i,\tau)\,\delta(\xi-\xi_2);$$

$$R_{H(2)}(\tau) = \int_{\xi} F_{R(2)}(\xi,\tau)\,d\xi =$$

$$= \int_{\xi} \left[\sum_{i=1}^{N} \sigma_{e1i}^2 r(\xi,\tau)\,\delta(\xi-\xi_1) + \sum_{i=1}^{N} \sigma_{e2i}^2 r(\xi,\tau)\,\delta(\xi-\xi_2)\right] d\xi =$$

$$= \sum_{i=1}^{N} \sigma_{1i}^2 r(\xi_i,\tau) + \sum_{i=1}^{N} \sigma_{2i}^2 r(\xi_i,\tau) + 2\sum_{i=1}^{N} \sigma_{1i}\sigma_{2i} =$$

$$= \sum_{i=1}^{N} (\sigma_{1i}^2 + 2\sigma_{1i}\sigma_{2i} + \sigma_{2i}^2) r(\xi_i,\tau) = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2 r(\xi_i,\tau).$$

Аналогично

$$R_{B(2)}(\tau) = \int_{\xi} (\xi - m_{(2)})^2 F_{R(2)}(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^{N} \left((\xi_1 - m_{(2)})\sigma_{1i} + (\xi_2 - m_{(2)})\sigma_{2i}\right)^2 r(\xi_i,\tau);$$

$$R_{BH(2)}(\tau) = \int_{\xi} (\xi - m_{(2)}) F_{R(2)}(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^{N} ((\xi_1 - m_{(2)})\sigma_{e1i}^2 + (\xi_2 - m_{(2)})\sigma_{e2i}^2) r(\xi_i,\tau);$$

$$S_{H(2)}(\tau) = \int_{\xi} F_{S(2)}(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2 s(\xi_i,\tau);$$

$$S_{B(2)}(\tau) = \int_{\xi} (\xi - m_{(2)})^2 F_{S(2)}(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^{N} \left((\xi_1 - m_{(2)})\sigma_{1i} + (\xi_2 - m_{(2)})\sigma_{2i}\right)^2 s(\xi_i,\tau);$$

$$S_{BH(2)}(\tau) = \int_{\xi} (\xi - m_{(2)}) F_{S(2)}(\xi,\tau)\,d\xi = \sum_{i=1}^{N} \left((\xi_1 - m_{(2)})\sigma_{e1i}^2 + (\xi_2 - m_{(2)})\sigma_{e2i}^2\right) s(\xi_i,\tau).$$

Параметры плотности распределения вероятности угловых шумов ($m$ и $\mu$) равны:

$$m_{(2)} = \frac{\int_\xi \xi F_{R(2)}(\xi,0)\,d\xi}{\int_\xi F_{R(2)}(\xi,0)\,d\xi} = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_1\sigma_{e1i}^2 + \sum_{i=1}^N \xi_2\sigma_{e2i}^2}{\sum_{i=1}^N \sigma_{e1i}^2 + \sum_{i=1}^N \sigma_{e2i}^2} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\xi_1\sigma_i^2 z_{12i}^2}{(1+z_{12i})^2} + \frac{\xi_1\sigma_i^2 z_{12i}}{(1+z_{12i})^2} + \frac{\xi_2 z_{12i}\sigma_i^2}{(1+z_{12i})^2} + \frac{\xi_2\sigma_i^2}{(1+z_{12i})^2}\right)}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2} =$$

$$= \begin{Bmatrix} \xi_1 = -1 \\ \xi_2 = 1 \end{Bmatrix} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1-z_{12i}}{1+z_{12i}}\sigma_i^2\right)}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i\sigma_i^2)}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2};$$

$$\mu_{(2)}^2 = \frac{\sigma_{H(2)}^2}{\sigma_{B(2)}^2} = \frac{\int_\xi F_{R(2)}(\xi,0)d\xi}{\int_\xi (\xi - m_{(2)})^2 F_{R(2)}(\xi,0)d\xi} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_{e1i}^2 + \sum_{i=1}^N \sigma_{e2i}^2}{\sum_{i=1}^N ((\xi_1 - m_{(2)})\sigma_{1i} + (\xi_2 - m_{(2)})\sigma_{2i})^2} = \begin{Bmatrix} \xi_1 = -1 \\ \xi_2 = 1 \end{Bmatrix} =$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{(1-z_{12i})\sigma_i - m_{(2)}(1+z_{12i})\sigma_i}{1+z_{12i}}\right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^N (\Delta\xi_i\sigma_i^2 - 2m\Delta\xi_i\sigma_i + m_{(2)}^2\sigma_i^2)}$$

или

$$\mu_{(2)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^N \Delta\xi_i^2\sigma_i^2 - m_{(2)}^2\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}.$$

С учетом равенства $m = m_{(2)}$ становится очевидным и равенство $\mu = \mu_{(2)}$, что гарантирует адекватное моделирование функции распределения угловых координат.

Таким образом получаем, что $R_H(\tau) \equiv R_{H(2)}(\tau)$, $R_B(\tau) \neq R_{B(2)}(\tau)$, $R_{BH}(\tau) \neq R_{BH(2)}(\tau)$, $S_H(\tau) \equiv S_{H(2)}(\tau)$, $S_B(\tau) \neq S_{B(2)}(\tau)$, $S_{BH}(\tau) \neq S_{BH(2)}(\tau)$.

**4. Условия адекватного моделирования.** Определим условия, обеспечивающие равенство пар функций $R_B(\tau)$ и $R_{B(2)}(\tau)$, $R_{BH}(\tau)$ и $R_{BH(2)}(\tau)$, $S_B(\tau)$ и $S_{B(2)}(\tau)$, $S_{BH}(\tau)$ и $S_{BH(2)}(\tau)$. Для этого необходимо для каждой из замещаемых точек объекта обеспечить выполнение системы равенств:

$$\begin{cases} \left(\left(\xi_1 - m_{(2)}\right)\sigma_{1i} + \left(\xi_2 - m_{(2)}\right)\sigma_{2i}\right)^2 = (\Delta\xi_i - m)^2\sigma_i^2; \\ \left(\xi_1 - m_{(2)}\right)\sigma_{e1i}^2 + \left(\xi_2 - m_{(2)}\right)\sigma_{e2i}^2 = (\Delta\xi_i - m)\sigma_i^2; \\ \sigma_{e1i}^2 + \sigma_{e2i}^2 = \sigma_i^2. \end{cases} \tag{4.1}$$

Первое уравнение системы обеспечит выполнение равенств $R_B(\tau) = R_{B(2)}(\tau)$ и $S_B(\tau) = S_{B(2)}(\tau)$, второе – равенств $R_{BH}(\tau) = R_{BH(2)}(\tau)$ и $S_{BH}(\tau) = S_{BH(2)}(\tau)$. Третье уравнение обеспечит равенство мощностей сигналов модели и замещаемой точки.

Выразим $\sigma_{e1i}^2$ из третьего уравнения системы (4.1) и подставим во второе. После несложных преобразований с учетом того, что $m_{(2)} = m$, получим

$$\frac{\sigma_{e1i}^2}{\sigma_{e1i}^2} = \frac{\sigma_{1i}^2 + \sigma_{1i}\sigma_{2i}}{\sigma_{2i}^2 + \sigma_{1i}\sigma_{2i}} = \frac{\sigma_{i1}}{\sigma_{i2}} = \frac{\Delta\xi_i - \xi_2}{\xi_1 - \Delta\xi_i} = z_{12i}. \tag{4.2}$$

Аналогично поступим с первым уравнением системы (4.1). Тогда:

$$(\xi_1 - m_{(2)})^2\sigma_{1i}^2 + 2(\xi_1 - m_{(2)})(\xi_2 - m_{(2)})\sigma_{1i}\sigma_{2i} + (\xi_2 - m_{(2)})^2\sigma_{2i}^2 =$$
$$= (\Delta\xi_i - m)^2\sigma_{1i}^2 + 2(\Delta\xi_i - m)^2\sigma_{1i}\sigma_{2i} + (\Delta\xi_i - m)^2\sigma_{2i}^2.$$

После преобразований найдем квадратное уравнение относительно неизвестной переменной $z_{12i}$:

$$az_{12i}^2 + bz_{12i} + c = 0. \tag{4.3}$$

С учетом равенства $m_{(2)} = m$ коэффициенты этого квадратного уравнения запишем следующим образом:

$$\begin{cases} a = 1 + 2m + 2m\Delta\xi_i - \Delta\xi_i^2; \\ b = 2(-1 + 2m\Delta\xi_i - \Delta\xi_i^2); \\ c = 1 - 2m + 2m\Delta\xi_i - \Delta\xi_i^2. \end{cases}$$

Решим (4.3). Дискриминант уравнения равен: $D = 16\left(m - \Delta\xi_i\right)^2$. Он положителен при любых $m$ и $\xi_i$, следовательно, уравнение (4.3) имеет два решения:

$$z_{12i}^{\pm} = \frac{\Delta\xi_i^2 \pm 2\left(m - \Delta\xi_i\right) - 2m\Delta\xi_i + 1}{\left(\Delta\xi_i + 1\right)\left(2m - \Delta\xi_i + 1\right)},$$

где верхний индекс “+” или “–“ определяет знак перед вторым слагаемым числителя;

$$\begin{cases} z_{12i}^{+} = \dfrac{1 - \Delta\xi_i}{1 + \Delta\xi_i}; \\ z_{12i}^{-} = \dfrac{1 + \Delta\xi_i - 2m}{1 - \Delta\xi_i + 2m}. \end{cases}$$

Один из корней ($z_{12i}^{+}$) совпадает с (4.2), выполнение которого необходимо для обеспечения $R_{BH}(\tau) = R_{BH(2)}(\tau)$ и $S_{BH}(\tau) = S_{BH(2)}(\tau)$. Кроме того, это выражение совпадает со вторым уравнением системы (3.1), определяющим взаимосвязь отношения СКО излучаемых сигналов и положения замещаемой точки.

**Заключение.** Двухточечная когерентная геометрическая модель может адекватно замещать отражения от многоточечного радиолокационного объекта как по критерию равенства параметров плотности распределения вероятности угловых шумов, так и по критерию равенства корреляционных функций угловых шумов модели и объекта. Для обеспечения равенства корреляционных функций угловых шумов модели и объекта необходимо обеспечить выполнение двух условий: во-первых, корректное моделирование углового положения точек объекта, во-вторых, при моделировании каждой из точек объекта необходимо использовать коэффициенты авто- и взаимной корреляции квадратурных составляющих сигнала, равные одноименным коэффициентам квадратурных составляющих эхосигнала от замещаемой точки объекта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Островитянов Р.В., Басалов Ф.А.* Статистическая теория радиолокации протяженных целей. М.: Радио и связь, 1982. 232 с.
2. *Штагер Е.А.* Рассеяние радиоволн на телах сложной формы. М.: Радио и связь, 1986. 184 с.
3. Справочник по радиолокации В 2 кн. Кн. 2 / Под. ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общ. ред. В.С. Вербы. М.: Техносфера, 2014. Т. 2. 680 с.
4. *Тырыкин С.В., Киселев А.В.* Экономичный алгоритм имитации сложных радиолокационных целей // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2003. Т. 4. С. 76–80.
5. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). 4-е изд. М.: Наука, 1978. 832 с.
6. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1966. Т. 1. 728 с.