

На рис. 6 видно, что первая буква «В» в соответствии с ключом (рис. 5) кодируется пятью сплошными линиями голубого цвета. Таким же образом кодируются все буквы открытого текста.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Штриховое кодирование [Электронный ресурс] / Студопедия – Учебные материалы. – 2013-2023. – Режим доступа: [https://studopedia.ru/13\\_172995\\_shtrihovoe-kodirovanie.html](https://studopedia.ru/13_172995_shtrihovoe-kodirovanie.html) – Дата доступа: 03.02.2023.

УДК 621.396.98

Доц. А.А. Дятко  
(БГТУ, г. Минск)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ НАЗЕМНОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Предположим, что установленная на самолете РЛС (бортовая РЛС – БРЛС) выполняет обзор земной поверхности, зондирующий сигнал попадает на гусеницу и, отразившись, принимается антенной БРЛС.

Рассмотрим сначала модель сигнала, принимаемого антенной БРЛС, при отражении его от отдельного трака (фрагмента) гусеницы (трака с номером  $k$ ).

Пусть сигнал, излученный антенной БРЛС в направлении трака, имеет вид [1]

$$\begin{aligned} s(t) &= A_0 U(t) g_f(\Delta\phi) e^{i(\omega_0 t + \phi_0)} = U(t) \sqrt{P_0} g_f(\Delta\phi) e^{i(\omega_0 t + \phi_0)} = \\ &= U(t) g_f(\Delta\phi) s_0(t), \end{aligned}$$

где  $A_0 = const$ ,  $\omega_0 = 2\pi f_0$  и  $\phi_0$  соответственно амплитуда, частота и начальная фаза излучаемого сигнала;  $P_0$  – мощность радиопередающего устройства БРЛС;  $g_f(\phi)$  – функция, описывающая ДНА БРЛС;  $\Delta\phi$  – рассогласование по углу между направлением максимума ДНА БРЛС и направлением на трак. Считаем, что ДНА имеет круговую симметрию, тогда сигнал на выходе ДНА зависит только от  $\Delta\phi$ . Для упрощения дальнейшего анализа будем полагать, что  $\Delta\phi \approx 0$  и поэтому  $g(\phi) \approx 1$ ;

$$s_0(t) = \sqrt{P_0} e^{i(\omega_0 t + \phi_0)},$$

$U(t)$  – закон модуляции зондирующих импульсов.

Если в качестве зондирующего импульса используется простой радиоимпульс, то

$$U(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq t \bmod T_r \leq T_0 \\ 0, & \text{при других } t \end{cases},$$

где  $T_0$  и  $T_r$  – соответственно длительность и период повторения импульса;  $t \bmod T_r$  – остаток от деления  $t$  на  $T_r$ .

При использовании линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) радиоимпульса:

$$U(t) = \begin{cases} e^{i \frac{\Delta\omega_m t^2}{2T_0}}, & \text{при } 0 \leq t \bmod T_r \leq T_0, \\ 0, & \text{при других } t, \end{cases},$$

где  $\Delta\omega_m$  – девиация частоты ЛЧМ – сигнала.

Сигнал, отраженный от трака с номером  $k$  и принятый антенной БРЛС, будет иметь вид

$$\begin{aligned} s_k^t(t) &= A_k^t(t - \tau_k^t) U(t - \tau_k^t) e^{i[\omega_0(t - \tau_k^t) + \varphi_0 + \phi_k^t(t - \tau_k^t)]} = \\ &= A_k^t(t - \tau_k^t) U(t - \tau_k^t) e^{i\psi_k^t(t - \tau_k^t)}, \end{aligned}$$

где  $A_k^t(t)$  – мгновенная амплитуда принятого сигнала, представляющая собой стационарный случайный процесс, имеющий нормированную корреляционную функцию  $r_A^t(\tau)$ ;  $\phi_k^t(t)$  – некоторый набег фазы, в общем случае случайный, обусловленный состоянием трассы распространением сигнала до трака и обратно;

$$\tau_k^t = \tau_k^t(t) = \frac{2|\tilde{R}_k^{tf}(t)|}{c} = \frac{2R_k^{tf}(t)}{c},$$

зависящая от времени, в силу взаимного перемещения носителя БРЛС и трака в пространстве, задержка распространения сигнала до трака и обратно к антенне БРЛС;  $c$  – скорость света;

$$\psi_k^t(t) = \omega_0(t - \tau_k^t) + \varphi_0 + \phi_k^t(t - \tau_k^t);$$

$R_k^{tf} = R_k^{tf}(t) = |\tilde{R}_k^{tf}(t)|$  – расстояние между носителем БРЛС и траком.

При этом  $s_k^t(t) = 0$ , при  $t < \tau_k^t(t)$ .

Выражение для частоты принимаемого сигнала, когда зондирующий сигнал имеет вид *простого радиоимпульса*, имеет вид:

$$\omega_k^t(t) = \frac{d}{dt} \psi_k^t(t) = \omega_0 - \omega_0 \frac{d}{dt} \tau_k^t(t) + \frac{d}{dt} \phi_k^t(t)$$

Функция  $\phi_k^t(t)$  описывает медленные флуктуации фазы, обусловленные состоянием среды распространения сигнала, поэтому можно положить, что

$$\frac{d}{dt}\phi_k^t(t) \approx 0.$$

Тогда выражение для частоты сигнала вид

$$\omega_k^t(t) = \frac{d}{dt}\psi_k^t(t) = \omega_0 - \omega_0 \frac{d}{dt}\tau_k^t(t) = \omega_0 - \frac{2\omega_0}{c} \frac{d}{dt}R_k^{tf}(t) = \omega_0 + \omega_D^{kt},$$

где

$$\omega_D^{kt} = -\frac{2\omega_0}{c} \vec{e}_k^{tf} \cdot (\vec{V}^t - \vec{V}^f) -$$

частота Доплера,  $\vec{V}^f = \vec{V}^f(V_x^f, V_y^f, V_z^f)$  – вектор скорости носителя

БРЛС,  $\vec{V}^t = \vec{V}^t(V_x^t, V_y^t, V_z^t)$  – вектор скорости трака.

$\vec{e}_k^{tf} = \vec{e}_k^{tf}(e_{kx}^{tf}, e_{ky}^{tf}, e_{kz}^{tf})$  – единичный вектор в направлении от носителя БРЛС к траку.

Полученное выражение для частоты Доплера можно представить в виде суммы парциальных частот

$$\omega_D^{kt} = -\frac{2\omega_0}{c} \vec{e}_k^{tf} \cdot (\vec{V}^t - \vec{V}^f) = -\frac{2\omega_0}{c} \vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{V}^t + \frac{2\omega_0}{c} \vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{V}^f = \omega_D^{ktc} + \omega_D^{kcf},$$

где

$$\omega_D^{ktc} = -\frac{2\omega_0}{c} \vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{V}^t = -\frac{2\omega_0}{c} |\vec{e}_k^{tf}| |\vec{V}^t| \cos\beta_{ko} = -\frac{2\omega_0}{c} |\vec{V}^t| \cos\beta_{kt} -$$

частота Доплера, обусловленная движением центра трака ( $c$  – center);

$\beta_{kt}$  – угол между векторами  $\vec{e}_k^{tf}$  и  $\vec{V}^t$ ;

$$\cos\beta_{ko} = \frac{\vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{V}^t}{|\vec{e}_k^{tf}| |\vec{V}^t|} = \vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{e}_V^t,$$

где  $\vec{e}_V^t = \vec{e}_V^o$ ;

$$\omega_D^{kcf} = \frac{2\omega_0}{c} \vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{V}^f = \frac{2\omega_0}{c} |\vec{e}_k^{tf}| |\vec{V}^f| \cos\beta_{kf} = \frac{2\omega_0}{c} |\vec{V}^f| \cos\beta_{kf} -$$

частота Доплера, обусловленная движением носителя БРЛС;  $\beta_{kf}$  –

угол между векторами  $\vec{e}_k^{tf}$  и  $\vec{V}^f$ ,

$$\cos\beta_{kf} = \frac{\vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{V}^f}{|\vec{e}_k^{tf}| |\vec{V}^f|} = \vec{e}_k^{tf} \cdot \vec{e}_V^f.$$

Выражение для средней мощности сигнала  $s_k^t(t)$ , принимаемого антенной БРЛС, можно представить в виде [2]

$$P_k^{At} = \frac{P_0}{4\pi^2 |\vec{R}^t|^4} G_A S^t S_A \rho^t \cos^2 \delta^t,$$

где  $S_A$  – эффективная площадь приемной антенны,  $S^t$  – площадь трака;  $\rho^t$  – коэффициент отражения,  $\delta^t$  – угол между вектором нормали к траку и направлением на носитель БРЛС со стороны трака,

$$G_A = \frac{40000}{\Delta\beta^\circ \Delta\varepsilon^\circ} -$$

коэффициент усиления антенны БРЛС,  $\Delta\beta^\circ$  и  $\Delta\varepsilon^\circ$  – ширина ДНА БРЛС в градусах;

Выражение для сигнала, принятого антенной БРЛС от всех элементарных траков, составляющих гусеницу, можно представить в виде

$$s_\Sigma^t(t) = \sum_{k=0}^{M-1} A_k^t(t - \tau_k^t) U(t - \tau_k^t) e^{i[\omega_0(t - \tau_k^t) + \varphi_0 + \phi_k^t(t - \tau_k^t)]}$$

или в виде, удобном для моделирования [3]

$$s_\Sigma^t(t) = \sum_{k=0}^{M-1} Z_k^t(t - \tau_k^t) U(t - \tau_k^t) e^{i\omega_0(t - \tau_k^t)},$$

где

$$Z_k^t(t) = A_k^t(t) e^{i[\varphi_0 + \phi_k^t(t - \tau_k^t)]} = Z_{kc}^t(t) + iZ_{ks}^t(t) -$$

комплексный случайный процесс, имеющий квадратурные составляющие  $Z_{kc}^t(t) = \text{Re}[Z_k^t(t)]$  и  $Z_{ks}^t(t) = \text{Im}[Z_k^t(t)]$ . При этом они имеют нормированные корреляционные функции  $r_A^t(\tau)$  и дисперсии (средние мощности)

$$D[Z_k^t(t)] = P_k^{At}, \quad D[Z_{kc}^t(t)] = D[Z_{ks}^t(t)] = (1/2)P_k^{At},$$

где  $D[x]$  – дисперсия переменной  $x$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и РЭБ. Часть 1. Основы радиолокации. – М.: Воениздат, 1983.
2. Маковецкий П.В., Васильев В.Г. Отражение радиолокационных сигналов. Лекции. Ленинградский институт авиационного приборостроения (ЛИАП), 1975.
3. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512с.