

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Науен Тьен Тхай

Гейстер С. Р. – д-р. техн. наук, профессор

Рассматриваются разные математические модели радиолокационного сигнала, отраженного от винта вертолета, которые в дальнейшем используются для анализа работоспособности и эффективности специальных алгоритмов обращенного синтеза апертуры антенны винтов вертолета. Разработанные модели обеспечивают разработку методов определения базовой частоты вращения винта, анализ временной и спектральной структур сигналов, отраженных от винтов вертолета. В моделях учитываются различные конструктивные особенности винтов вертолета.

Одновинтовой вертолет как объект радиолокационного наблюдения в пространстве совершает сложное движение: фюзеляж совершает поступательное движение, несущий и рулевой винты совершают поступательно-вращательное движение. При этом углы атаки лопастей несущего винта изменяются. Поэтому при облучении вертолета радиолокационным сигналом, в параметрах отраженного сигнала будут закодированы параметры движения и конструктивные особенности вертолета.

В разработанной математической модели сигнала, отраженного от несущего винта, лопасть [1] представляется в виде цилиндра и не может использоваться при разработке специального алгоритма обращенного синтеза апертуры антенны винтов вертолета.

Для сантиметрового диапазона радиоволн реальный воздушный объект рассматривается как совокупность независимых элементарных отражателей [2]. В этом случае сигнал, отраженный от объекта, определяется суперпозицией сигналов, отраженных от отдельных отражателей, расположенных на поверхности лопастей.

Поэтому в данной работе рассмотрим три вида модели отраженного сигнала, которые определяются представлением лопасти (см. рис. 2-4)

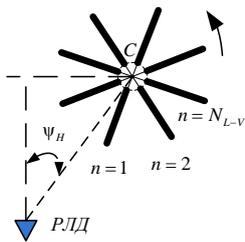


Рис. 1 – Винт вертолета как система лопастей

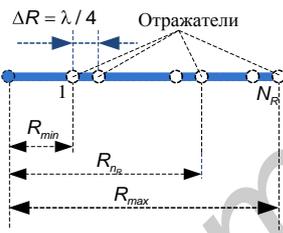


Рис. 2 – Лопасть в виде линии

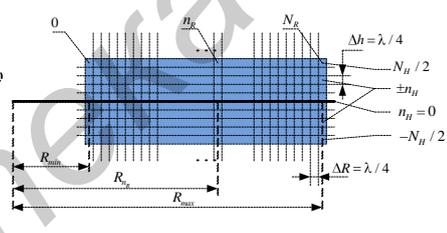


Рис. 3 – Лопасть в виде прямоугольника

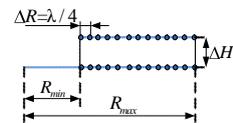


Рис. 4 – Лопасть в виде двух линий

Винт вертолета, схематично изображенный на рисунке 1, представляет собой систему из N_{L-V} лопастей, синхронно вращающихся вокруг оси винта с частотой F_V или периодом T_V .

Лопастей пронумеруем по ходу вращения винта, если он наблюдается сверху. При таком наблюдении винт вращается против часовой стрелки. С учетом этого угловой интервал между лопастями в системе определяется как $\Delta\phi_V = 2\pi / N_{L-V}$. Угловое положение ϕ_{L-n} любой n -ой лопасти системы относительно направления наблюдения определяется с использованием углового положения первой лопасти ϕ_{L-1} , которая в момент начала анализа при $t = 0$ имеет положение $\phi_{L-1} = \phi_0$.

Соответственно в любой момент времени t любая n -ая лопасть системы имеет угловое положение относительно направления наблюдения, определяемое выражением

$$\phi_{L-n}(t) = -\Delta\phi_V(n-1) + 2\pi F_V t + \phi_0. \quad (1)$$

Сигнал, отраженный от винта, в точке приема в любой момент времени представляет собой совокупность сигналов, отраженных от всех лопастей в данный момент времени с учетом задержки распространения волн.

В соответствии с этими математическая модель отраженного сигнала винта из N_{L-V} лопастей в одном периоде вращения T_V можно представить в виде

$$U_{PL-V}(t) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{N_{L-V}} U_{PL1-V}(t - \Delta_{t-n}), & 0 \leq t \leq T_V, \\ 0, & t < 0, t > T_V, \end{cases} \quad (2)$$

где $U_{PL1-V}(t)$ - сигнал, отраженный от одной лопасти, имеющей на момент времени $t = 0$ нулевое угловое положение относительно направления на точку наблюдения;

$\Delta t_{-n} = \Delta \phi_V(n-1) / 2\pi F_V$ - начальное временное рассогласование n -ой лопасти системы относительно направления наблюдения.

При монохроматическом зондирующем сигнале (ЗС) отраженный сигнал одной лопасти, может быть представлен в виде [3]:

$$U_{PL1-V}(t) = \sum_{n_R=1}^{N_R} E_{n_R}(t) \cdot \exp[i\varphi_{n_R}(t)], \quad (3)$$

где $E_{n_R}(t) = \sqrt{2\sigma_{n_R}^2(t)}$ - амплитуда сигнала, отраженного от n_R -го отражателя; $\varphi_{n_R}(t)$ - закон изменения фазы сигнала, отраженного от n_R -го отражателя в процессе его перемещения относительно фазового центра антенны радиолокатора; $\sigma_{n_R}^2(t)$ - мощность отраженного сигнала от n_R -го отражателя.

Для создания математических моделей сигналов, отраженных от винта вертолета, был использован язык программирования технических вычислений MathCad. Сложностью при разработке моделей является большое количество отражателей. Это существенно замедляет процесс вычисления.

а) Лопасть в виде линии

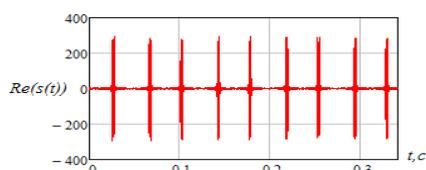


Рис. 5 – Временная реализация сигнала

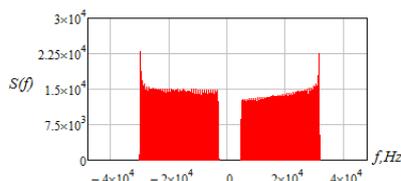


Рис. 6 - Спектр сигнала

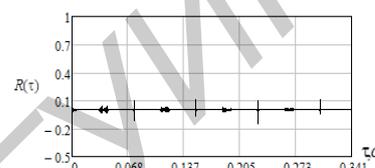


Рис. 7 - Автокорреляционная функция

б) Лопасть в виде прямоугольника

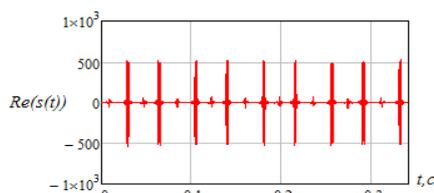


Рис. 8 – Временная реализация сигнала

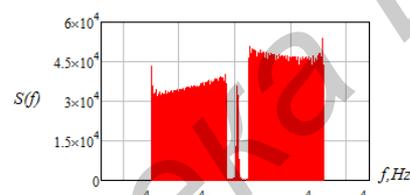


Рис. 9 - Спектр сигнала

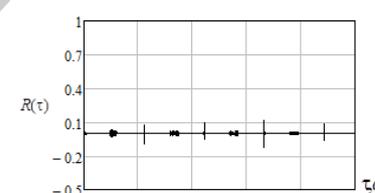


Рис. 10 - Автокорреляционная функция

в) Лопасть в виде двух линий

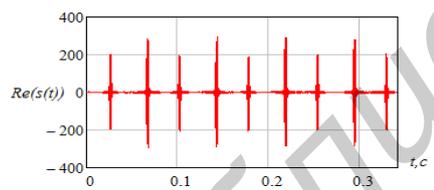


Рис. 11 – Временная реализация сигнала

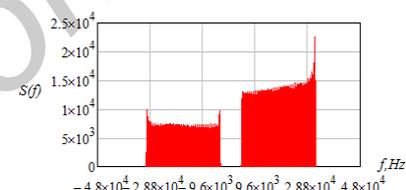


Рис. 12 - Спектр сигнала

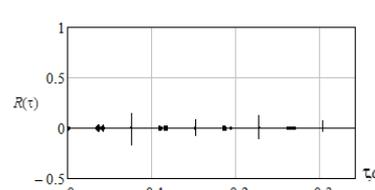


Рис. 13 - Автокорреляционная функция

Полученные результаты в данной работе предназначены для анализа достоверности, работоспособности и эффективности специального алгоритма обращенного синтеза апертуры антенны винтов вертолета. Этот алгоритм основан на компенсации набегов фаз и когерентном накоплении сигналов, отраженных от каждого отражателя, расположенного разным способом на поверхности лопастей винта. В итоге на выходе устройства обработки можно получить радиолокационные изображения винтов вертолета, которые позволяют определить конструктивные особенности и решить задачу распознавания летательных аппаратов.

Список использованных источников:

1. Васильев О.В., Кутахов П.В., Щекотилов В.Г., Юрчик И.А. // Радиотехника. 2011, №11. С. 12-16.
2. Варганов М.Е., Зиновьев Ю.С. и др. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов/под ред. Л.Т. Тучкова. М.: Радио и связь, 1985, 228с.
3. Охрименко А.Е., Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Часть 1. Основы радиолокации. М.:Воениздат, 1983, 456с.