

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА ВИНТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РАДИОЛОКАЦИОННОМ ДАТЧИКЕ МЕТОДОМ ОКОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

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

Науен Т. Т.

Гейстер С. Р. – д.т.н., профессор

При построении изображения винта летательного аппарата (ЛА), использующего малые и предельно малые высоты, в радиолокационном датчике (РЛД) с обращенным синтезом апертуры антенны (САА), необходимо определить радиус данного винта. Для этого предлагается использование метода оконного преобразования Фурье.

Воздушный винт ЛА в полете выполняет поступательно-вращательное движение. При этом концевые точки лопастей имеют наибольшую линейную скорость движения относительно центра вращения. Такая скорость рассчитывается по формуле:

$$V_L = 2\pi F_V R_L, \quad (1)$$

где F_V – частота вращения винта; R_L – радиус лопасти.

При облучении воздушного винта радиолокационным сигналом [1], сигнал, отраженный от винта ЛА, является линейно частотно-модулированным. Доплеровский спектр огибающей такого сигнала широкий по сравнению со спектром сигнала корпуса, так как частота доплеровского сдвига зависит от времени и определяется выражением:

$$F_{\text{доп}}(t) = 2 \cdot V_r(t) / \lambda, \quad (2)$$

где $V_r(t)$ – радиальная скорость точки, находящейся на поверхности лопасти, относительно РЛД; λ – длина волны зондирующего сигнала РЛД.

Из рис. 1 видим, что отраженный от винта сигнал имеет максимальную доплеровскую частоту при прохождении лопасти через точки 1 и 2 (рис. 1), когда проекция вектора линейной скорости лопасти на линию визирования максимальна. Подставим (1) в (2) получим максимальную доплеровскую частоту лопастей винта

$$F_{\text{доп_max}} = 2V_L / \lambda = 2(2\pi F_V R_L) / \lambda = 4\pi F_V R_L / \lambda. \quad (3)$$

Отсюда можно определить эффективный радиус воздушного винта ЛА по формуле:

$$R_L = \lambda F_{\text{доп_max}} / (4\pi F_V). \quad (4)$$

Для определения максимальной доплеровской частоты и частоты вращения воздушного винта предлагается использовать оконное преобразование Фурье, для которого выполняется следующие действия для отраженного от ЛА сигнала:

- выделение спектра сигнала, отраженного от ЛА, из принятого сигнала;
- вычисление обратного быстрого преобразования Фурье (БПФ) от полученного спектра;
- компенсация доплеровского сдвига поступательного движения корпуса ЛА;
- вычисление оконного преобразования Фурье STFT (short-time Fourier transform) [2] для сигнала, полученного на предыдущем этапе;
- определение максимальной доплеровской частоты и частоты вращения винта по спектрограмме.

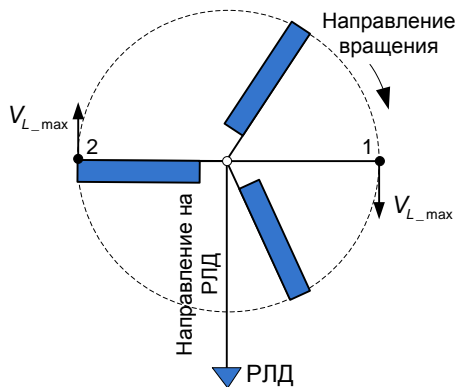


Рис. 1. К описанию формулы 3

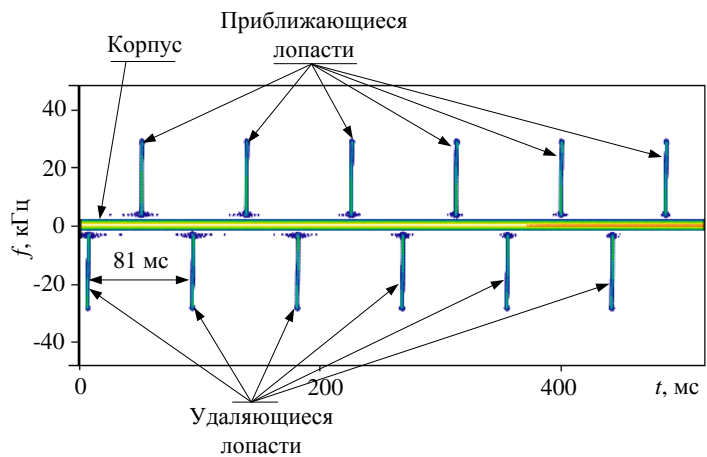


Рис. 2. Спектрограмма сигнала, отраженного от вертолета Ми-2 (моделирование)

На рис. 2 приведен результат моделирования – спектрограмма, полученная путем вычисления оконного преобразования Фурье от сигнала, отраженного от трехлопастного вертолета Ми-2, после компенсации доплеровского сдвига поступательного движения корпуса, при следующих условиях: длина лопасти 7 м, частота вращения винта 4,119 Гц, длина волны $\lambda = 1,25$ см, частота дискретизации 96 кГц, число точек БПФ 64, окно Ханна длиной 64 с перекрытием 30%.

По спектрограмме можно определить максимальную доплеровскую частоту лопасти и частоту вращения винта: $F_{dop_max} \approx 29$ кГц, $F_V = 4,115$ Гц. Тогда в соответствии с (4) радиус винта вертолета $R_L \approx 7$ м.

Список использованных источников:

5. Слюсарь Н. М., Вторичная модуляция радиолокационных сигналов динамическими объектами. – Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2006. – 173с.
6. Sang-Ho Y., Byungwook K., Young-Soo K. Helicopter classification using time-frequency analysis // Electronics Letters, vol. 36, no. 22, Oct 2000, pp. 1871–1872.