
УДК 621.396.961.06

Г. А. АЛЕКСЕЕВ, канд. физ.-мат. наук, *С. И. ХОМЕНКО*

**ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА
ПРИ ПРОПЕЛЛЕРНОЙ МОДУЛЯЦИИ.
Часть 2. МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ**

В первой части работы* были обсуждены некоторые особенности пропеллерной модуляции, являющейся амплитудно-фазовой модуляцией сигнала, отраженного от вращающейся структуры с осевой симметрией типа пропеллера. Предложена упрощенная модель пропеллера, позволяющая провести гармонический детерминированный анализ сигнала на выходе фазового детектора когерентной радиолокационной станции. Настоящая статья содержит результаты экспериментальных исследований энергетических спектров сигнала при

* *Алексеев Г. А., Хоменко С. И.* Особенности спектра отраженного сигнала при пропеллерной модуляции. Часть 1. Теоретический анализ // *Радиотехника.*— 1987.— Вып. 83.— С. 87—94.

пропеллерной модуляции, проведенных в лабораторных условиях на различных моделях пропеллера. Приведены также спектры от винта винтомоторного самолета.

Лабораторная установка для спектрального анализа отраженного сигнала представляла макет радиолокационной станции непрерывного излучения с обработкой сигнала после балансного фазового детектора на нулевой промежуточной частоте цифровым спектроанализатором типа СК4-72 и последующей записью на двухкоординатном самописце. В качестве рассеивающих элементов использовались тонкие металлические пластины прямоугольной формы, закрепленные под углом разворота $\Phi_s = 0; 0,1; 0,2$ на диэлектрическом диске, вращающемся с угловой скоростью 3000 об/мин, что соответствует частоте вращения

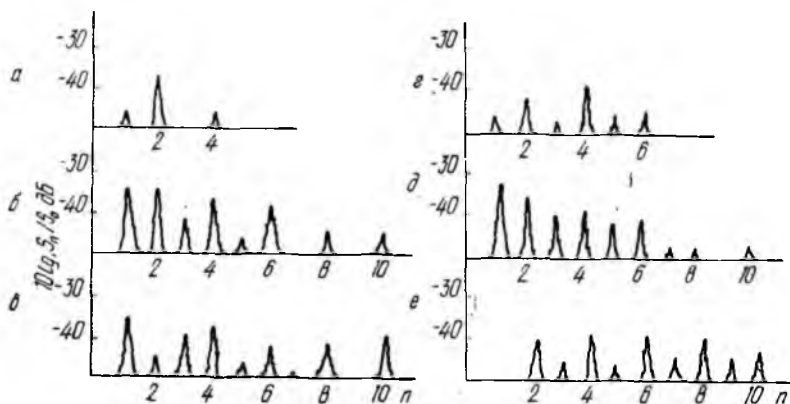


Рис. 1

$2\pi\Omega = 50$ Гц. Азимутальный угол визирования (ракурс модели) может меняться с помощью подвижной платформы в пределах $0 - 360^\circ$ и фиксировался с точностью ± 10 мин. Разрешение спектральных линий исследуемого эхо-сигнала спектроанализатором производилось с точностью $\pm 0,5$ Гц по уровню половинной мощности.

На рис. 1 представлены типичные реализации текущего спектра сигнала от пластин с размерами $H = 2\lambda$, $L = 5\lambda$, которые вращаются вокруг своего центра (рис. 1, а, б, в — $L_0 = 0$) или вокруг центра расположенного на ребре (рис. 1, г, д, е — $L_0 = 2,5\lambda$), полученные при горизонтальной поляризации излучения, в децибелах относительно максимума спектральной плотности нулевой гармоники S_0 . Рис. 1, а, г соответствует неразвернутой пластине и азимуту $\Phi = 84^\circ$ рис. 1, б, д — пластине с разворотом $\Phi_s = 0,2 \approx 12^\circ$ при том же ракурсе, рис. 1, в, е — пластине с разворотом $\Phi_s = 0,2$ и азимуту $\Phi = 78^\circ$. Уширение спектральных линий вызвано наличием в реальном вращательном движении случайных компонент, определяющих быстрые вибрации пластины.

Как видно из рис. 1, а, г, основной вклад в энергию отраженного обработанного сигнала вносят четные гармоники, угловая частота которых пропорциональна удвоенной частоте вращения пластины,

что отвечает теоретическим представлениям. Наличие в спектре нечетных гармоник на уровне -40 дБ относительно максимума спектральной плотности при осевой симметрии неразвернутой пластины объясняется псевдорегулярной прецессией в пространстве оси вращения диска. Разворот пластины, нарушающий осевую симметрию, вызывает усиление нечетных гармоник (рис. 1, б, д).

Вид спектра существенно зависит от ракурса модели (рис. 1, в, е). В соответствии с теоретическими выводами и рис. 3 первой части работы разворот пластины, смещение ее центра от оси вращения и отход точки наблюдения от нормального азимутального направления приводят к расширению, выравниванию спектра и обогащению высшими временными гармониками. Однако в эксперименте не обнаружено направ-

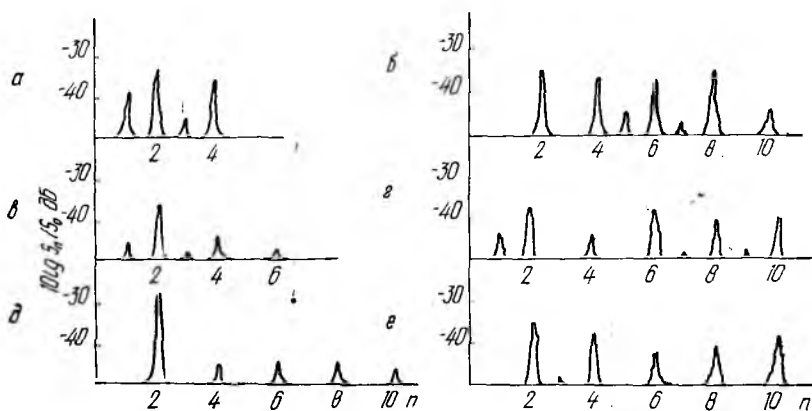


Рис. 2

ления (вблизи нормального азимутального), в котором модуляция сигнала отсутствует. Этот результат можно объяснить как неточностью изготовления и асимметрией вращения модели, так и поляризационной модуляцией в точке наблюдения краевых волн модели, не учитываемых в рамках используемого в настоящей работе приближения Кирхгофа. Не наблюдалось также стабильного смещения максимума спектра.

На рис. 2 приведены реализации спектра от пластинчатой двухлопастной модели пропеллера с параметрами образующих пластин $H^a = H^б = 2\lambda$; $L^a = L^б = 5\lambda$; $L_0^a = 2,5\lambda$; $L_0^б = 7,5\lambda$; $\Phi_s^a = \pm 0,2$; $\Phi_s^б = \pm 0,1$ (рис. 2, а, б), от эквивалентной неразвернутой пластины с размерами $H = 2\lambda$; $L = 20\lambda$; $L_0 = 0$ (рис. 2, в, г) и от масштабной модели реального пропеллера с размерами лопасти винта порядка 2λ ; 10λ и переменным углом закрутки $\Phi_s \approx 0,2 \div 0,1$ (рис. 2, д, е) в двух направлениях наблюдения ($\Phi = 89^\circ$ — на рис. 2, а, в, д; $\Phi = 78^\circ$ — на рис. 2, б, г, е). Для спектров рис. 2, а, б, д, е характерен гораздо более низкий уровень нечетных гармоник, обусловленный осевой симметрией моделей.

Из сравнения рисунков видно, что вид спектра и закон убывания гармоник существенно зависят от ракурса объекта. Однако при фиксированном ракурсе спектры, наблюдаемые от пластинчатой модели, реального пропеллера и эквивалентной пластины, практически неразличимы, и информативным признаком, характеризующим пропеллерную модуляцию, является только относительное смещение спектральных линий.

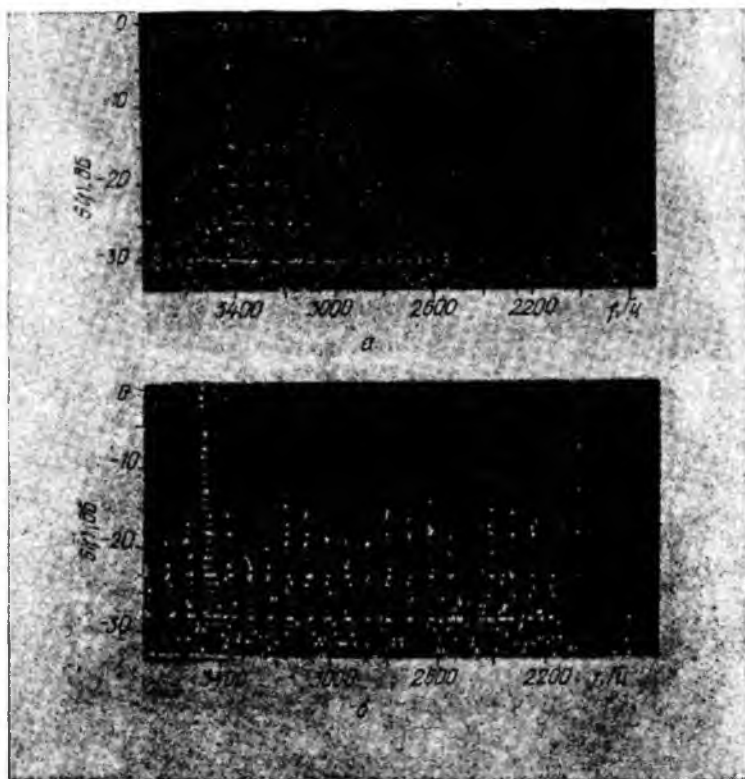


Рис. 3

В целом проведенные модельные экспериментальные исследования качественно соответствуют результатам теоретических расчетов и подтверждают возможность оценки эффектов пропеллерной модуляции на основе упрощенных теоретических моделей.

На рис. 3 представлены фотографии спектров радиосигнала от пропеллера винтомоторного самолета, полученные на экране спектроанализатора когерентной радиолокационной станции. Рис. 3, *а* соответствует ракурсу $\Phi \approx 90^\circ$, рис. 3, *б* — $\Phi \approx 75^\circ$. Определенная асимметрия спектров объясняется обработкой сигнала после фазового детектора на нулевой промежуточной частоте. Как видно, качественные особенности спектров, выявленные в результате теоретического

анализа и модельных экспериментов, проявляются также при пропеллерной модуляции сигналов, отраженных от реальных аэродинамических объектов.

Поступила в редколлегию 25.04.86