

## ДОПЛЕРОВСКИЕ СИГНАТУРЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЛОПАСТЕЙ ВОЗДУШНЫХ ВИНТОВ ВЕРТОЛЕТОВ И ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Н.М. СЛЮСАРЬ

*Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»  
пр-т Независимости, 220, г. Минск, 220057, Республика Беларусь  
sedgor@yandex.ru*

Рассматриваются основные особенности ветроэнергетических установок (ВЭУ), их влияние на работу РТС, проблемы моделирования и исследования радиолокационных характеристик (РЛХ) ВЭУ и их элементов. Основная часть доклада имеет двойную информационную нагрузку: как обстоятельное, всестороннее рассмотрение динамических РЛХ вертолетов, и как база для математического и физического моделирования рассеяния волн вращающимися лопастями турбин ВЭУ, оценки их РЛХ, рассматривая несущий винт вертолета в качестве модели турбины ВЭУ.

*Ключевые слова:* динамические радиолокационные характеристики, вторичная модуляция, спектрально-временная структура сигнала, вертолет, ветроэнергетическая установка.

Доплеровские сигнатуры и в целом динамические радиолокационные характеристики (ДРЛХ) воздушных винтов представляют интерес для теории и практики радиолокации с точки зрения решения задач обнаружения, сопровождения, распознавания целей, наведения управляемого оружия, а также снижения их радиолокационной заметности. Возросший интерес к данной проблеме вызван также интенсивным развитием ветроэнергетики. Ветроэнергетические установки (ВЭУ), вращающиеся лопасти их турбин могут оказывать существенное негативное влияние на работу РЛС, вплоть до снижения безопасности полетов авиации, эффективности вооружения системы ПВО, военной составляющей национальной безопасности государства. В той или иной мере снижается эффективность практически всех радиотехнических систем (РТС), в радиоканалах которых находятся ВЭУ большой мощности.

С конца семидесятых годов прошлого столетия за рубежом выполняются обширные программы исследований по оценке влияния помех, создаваемых ВЭУ, на работу РТС различного назначения, а также по поиску путей снижения их негативного влияния, разрешения возникших противоречий между РТС и ВЭУ большой мощности.

Цель доклада: анализ ДРЛХ вертолетов и ВЭУ как элементов пространства радиолокационного наблюдения. При этом проблема ДРЛХ несущих винтов (НВ) вертолетов рассматриваются в двух аспектах – как самостоятельная актуальная проблема, а также как составная часть проблемы математического, физического моделирования и оценки ДРЛХ ВЭУ.

ВЭУ, как элементы радиоканалов, существенно отличаются от уже изученных, как целей, так и «местных предметов» (МП). Они одновременно обладают свойствами, присущими как целям, так и МП. Как и МП, они стационарно находятся на местности, но имеют динамические (вращающиеся) элементы, причем на достаточно больших высотах, превышающих минимальные высоты полетов авиации и средств воздушного нападения. По особенностям кинематики элементов отражающей поверхности ВЭУ и спектрально-временной структуре отраженных сигналов они подобны зависающим вертолетам.

Принципиально отличают ВЭУ от тех и от других большие геометрические размеры ВЭУ и их ЭПР, достигающие нескольких сотен тысяч м<sup>2</sup>, относительно большие (порядка 100 м/с) скорости движения элементов турбин, а также их

расположение на местности и большое количество установок в фермах ВЭУ. Это приводит к существенно более выраженному влиянию на распространение радиоволн и проявлению соответствующих эффектов в радиоканалах, в радиотехнических устройствах и системах.

Большие геометрические размеры и вращение лопастей создают проблемы исследования РЛХ ВЭУ, необходимость разработки новых или совершенствования традиционных методов расчета и анализа РЛХ объектов. Это связано, прежде всего, с нарушением условий дальней зоны (РЛХ функции не только угловых координат источника и приемника, но и расстояний каждого из них до объекта) и с необходимостью рассмотрения динамических РЛХ, а не статических РЛХ, т. е. учета эффекта вторичной модуляции. РЛХ ВЭУ зависят от погодных условий, направления и скорости ветра.

Ближайшими аналогами вращающихся турбин ВЭУ по ДРЛХ, физическим основам формирования отраженных сигналов, их спектрально-временной структуре являются вращающиеся НВ вертолетов. Это позволяет использовать для решения вновь возникшей проблемы конфликта «РТС-ВЭУ» весь накопленный к настоящему времени арсенал методов, средств и результатов исследований ДРЛХ вертолетов.

Рассматриваются вопросы моделирования отраженных от НВ вертолетов сигналов, спектрально-временные структуры, закономерности вторичной модуляции эхосигналов несущими и рулевыми винтами, компрессорами, вентиляторами систем охлаждения. Анализируются: взаимосвязь технических и конструктивных характеристик вертолетов с их РЛХ, особенности спектрально-временных радиолокационных портретов, виды экранов индикаторов доплеровских РЛС при наблюдении вертолетов. Представлены экспериментальные данные, полученных в натуральных условиях в различных диапазонах длин волн, дается аргументированная интерпретация наблюдающихся эффектов. Показаны возможности решения обратных задач: оценки характеристик, а также ориентации зависящих вертолетов.

В связи с проблемами радиолокационного наблюдения малозаметных низколетящих объектов все больший практический и теоретический интерес представляют РЛХ целей при больших бистатических углах, в том числе близких к  $180^\circ$ . В докладе представлены экспериментальные данные спектрально-временных структур отраженных сигналов при пролетах вертолетов через радиоканалы систем связи, зоны действия РЛС прямого рассеяния. Рассмотрены принципы отображения информации о технических характеристиках вертолетов в этих сигналах.

Спектрально-временные структуры и закономерности вторичной модуляции отраженных от лопастей турбин ВЭУ сигналов даются в контексте преломления результатов исследований ДРЛХ вертолетов, как аналогов масштабных физических моделей ВЭУ, с учетом количественных и качественных (конструктивных) особенностей и различий лопастей турбин ВЭУ и НВ вертолетов.

Существенное расширение фронта теоретических и экспериментальных исследований ДРЛХ вращающихся лопастей турбин, поиск путей и технологий снижения их радиолокационной заметности, совершенствование теории, методического аппарата и техники таких исследований, более открытый характер исследований и публикаций по данной проблеме в сравнении с таковой для вертолетов безусловно окажут влияние на прогресс в проблемах ДРЛХ вертолетов. Это касается как снижения заметности вертолетов, так и повышения эффективности их радиолокационного наблюдения, выявления основных закономерностей и связей ДРЛХ вертолетов с их с техническими и конструктивными характеристиками.