

УДК 621.396.96:621.452.32

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ФОРСАЖНЫХ РЕЖИМАХ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

СЛЮСАРЬ Н. М.

*Военная академия Республики Беларусь
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Рассматриваются спектрально-временные структуры радиолокационных сигналов сантиметрового диапазона волн, отраженных от самолетов с турбореактивными двигателями при форсажных режимах работы.

Abstract. The spectral-temporal structures of centimeter-wave radar signals reflected from aircraft with turbojet engines during afterburner operation are considered.

Доплеровские сигнатуры и в целом динамические радиолокационные характеристики (ДРЛХ) воздушных объектов представляют интерес для теории и практики радиолокации с точки зрения решения задач радиолокационного обнаружения, сопровождения, распознавания целей, наведения управляемого оружия, а также снижения их радиолокационной заметности.

В докладе проводится анализ влияния форсажных режимов турбореактивных двигателей (ТРДФ) на частотный спектр отраженных радиолокационных сигналов.

Различают режимы полного, минимального и частичного форсажа. Режиму полного форсажа соответствует работа двигателя при максимальных значениях частоты вращения F_v ротора турбокомпрессора. Этот режим используется при взлете и разгоне самолета до больших сверхзвуковых скоростей. Режим минимального форсажа соответствует минимальной величине форсажной тяги. Между полным и минимальным форсажем заключены режимы частичного форсажа (крейсерские форсажные режимы). Существуют различные методы форсирования, но наиболее широкое распространение получило форсирование тяги двигателя дополнительным сжиганием топлива за турбиной в форсажной камере [1].

При включении и выключении форсажа в ТРДФ происходят переходные процессы с кратковременным изменением частот вращения роторов. Например, для ТРДФ Р13-300 самолета МиГ-21 наблюдается уменьшение частоты вращения ротора КНД на 4–6 % при включении форсажа и такое же увеличение при его выключении. В современных отечественных и зарубежных ТРДФ и ТРДДФ применяют более эффективный метод ступенчатого включения форсажа, который предполагает плавный переход от нефорсированного режима к форсажному, так что отклонения частоты вращения существенно снижаются.

Пример спектрально-временной структуры квадратурной составляющей комплексной огибающей сигнала, отраженного от самолета при изменении режима работы ТРДФ, приведен на рис. 1. В момент времени t_1 частота вращения ротора начинает возрастать и достигает максимума.

В момент времени $t_{н.ф}$ включается форсаж и наблюдается переходный процесс в системе управления частотой вращения ротора турбокомпрессора. На участке полета на форсажном режиме и после выключения форсажа частота вращения ротора имеет максимальное значение.

В момент выключения форсажа $t_{к.ф}$ вновь наблюдается переходный процесс (теперь заброс оборотов). После момента времени t_2 наблюдается уменьшение частоты вращения ротора.

При наличии на самолете нескольких двигателей и различии настроек систем автоматического регулирования частоты вращения переходные процессы двигателей различаются (рис. 2). Могут наблюдаться также различия частот вращения роторов до и после включения (выключения) форсажа (рис. 3).

Как отмечалось выше, в современных отечественных и зарубежных ТРДФ и ТРДДФ применяют более эффективный метод ступенчатого включения форсажа, предполагающий плавный переход от нефорсированного режима к форсажному. При этом отклонения частоты вращения существенно снижаются. Например, в сигналах, отраженных от самолета МиГ-23, переходные процессы в спектре частот при включении и выключении форсажа также наблюдаются, но выражены

менее ярко и отличаются по форме от рассмотренных выше случаев большей длительностью и плавностью, меньшими амплитудами забросов частоты вращения.

Представляет интерес связь между доплеровским сдвигом частоты и частотами вращения роторов двигателей. Но эта связь многопараметрическая и неоднозначная. Познание ее закономерностей позволяет надеяться на возможность получения дополнительной информации о состояниях и действиях целей.

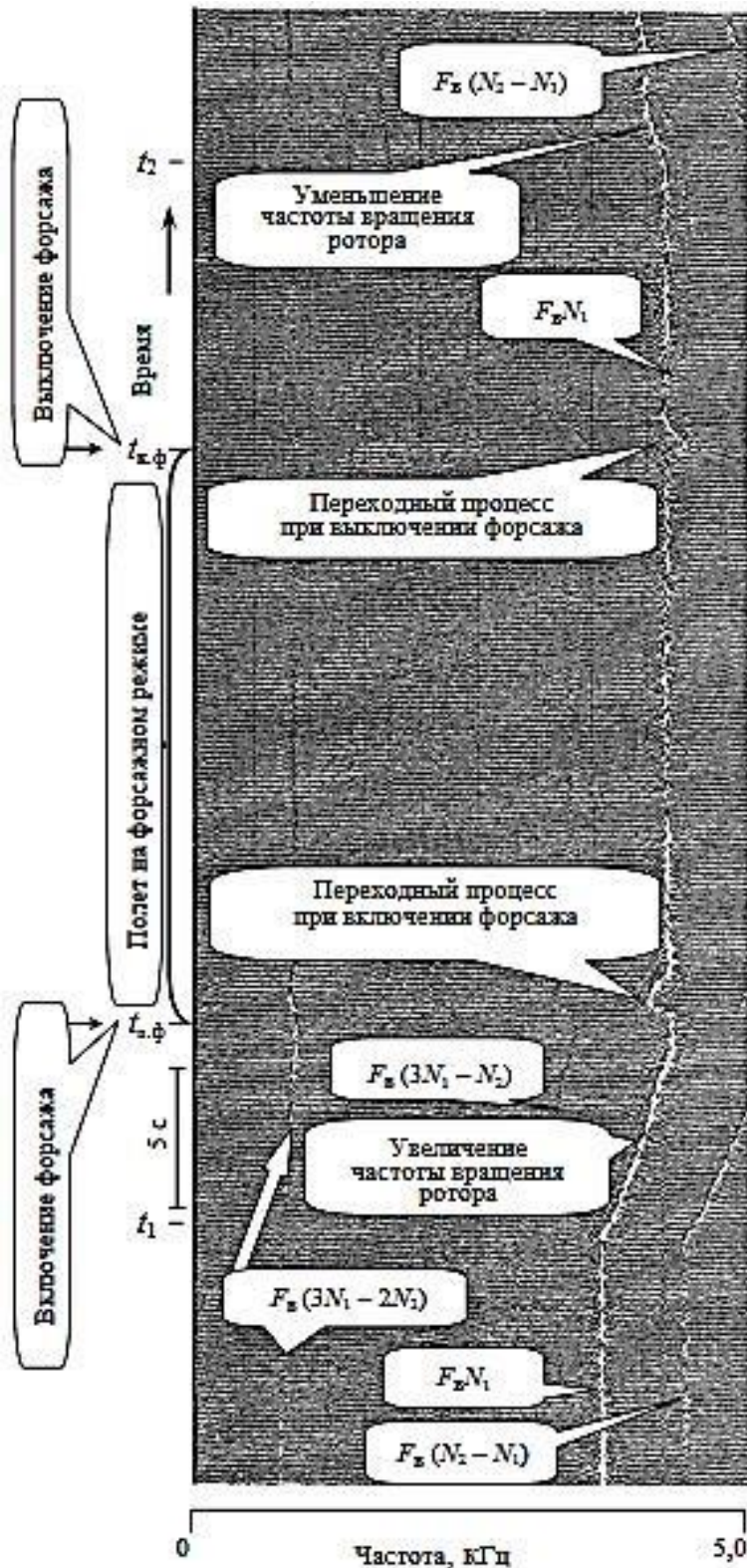


Рис. 1. Динамика спектральной структуры квадратурной составляющей комплексной огибающей сигнала, отраженного от самолета при изменении режима работы ТРДФ (непрерывная РЛС; режим «монокроматического» излучения)

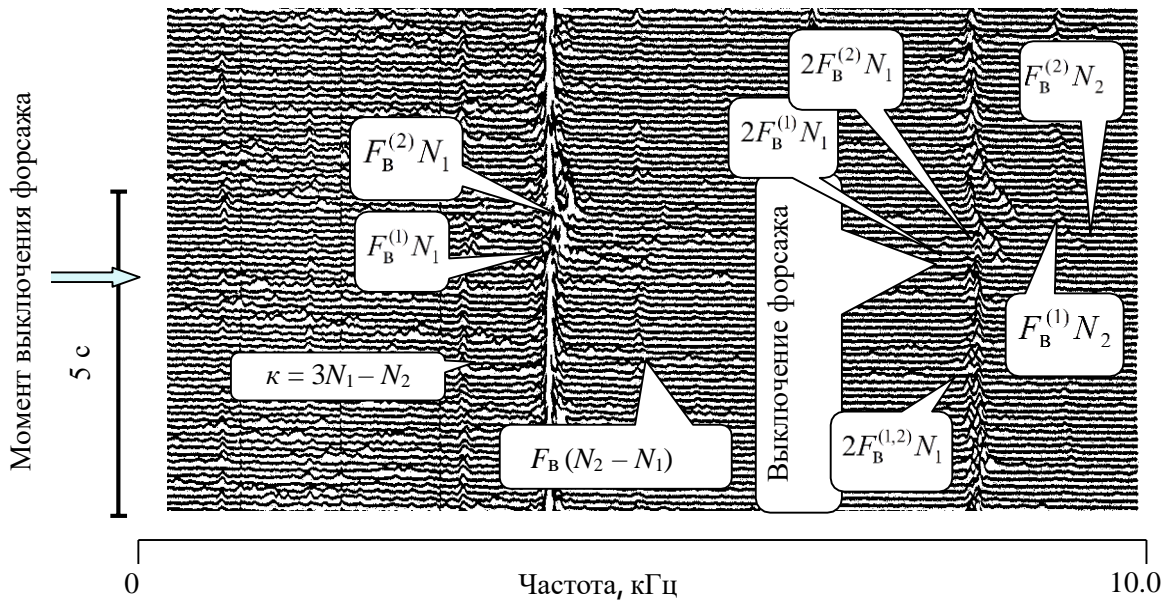


Рис. 2. Динамика спектра сигнала, отраженного от самолета с двумя двигателями, при выключении форсажа и различии переходных процессов в двигателях

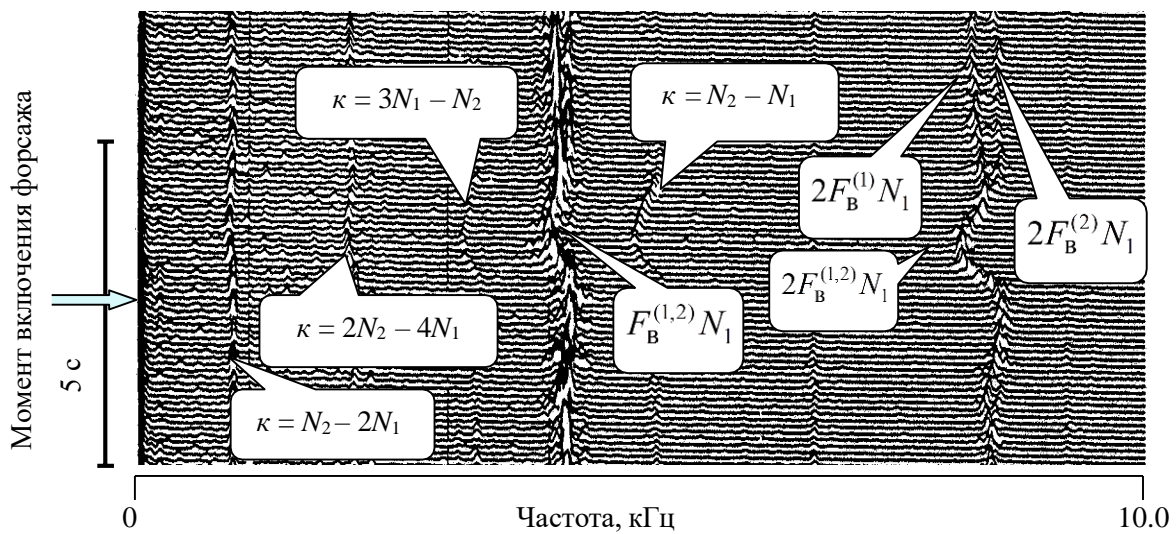


Рис. 3. Динамика спектра сигнала, отраженного от самолета с двумя двигателями, при включении форсажа и различии частот вращения на форсажном режиме

Действительно, доплеровский сдвиг частоты пропорционален путевой скорости самолета и возрастает с увеличением тяги двигателя. Она, в свою очередь, возрастает с ростом F_B . Маневры самолета, как правило, связаны с изменением тяги двигателя и, соответственно, скорости полета, а также изменением направления вектора путевой скорости. В силу существенного различия инерционных свойств самолета в целом и ротора двигателя параметр F_B изменяется раньше (он первичен) и с большей скоростью, чем $F_{дс}$. Следовательно, динамика спектра частот отраженного сигнала несет упреждающую информацию о начале маневра цели, связанного с изменением тяги двигателей.

Подтверждающие этот вывод экспериментальные результаты представлены на рис. 4 (РЛС СНР-125; спектральный анализ выполнен на оптическом анализаторе спектра) [2].

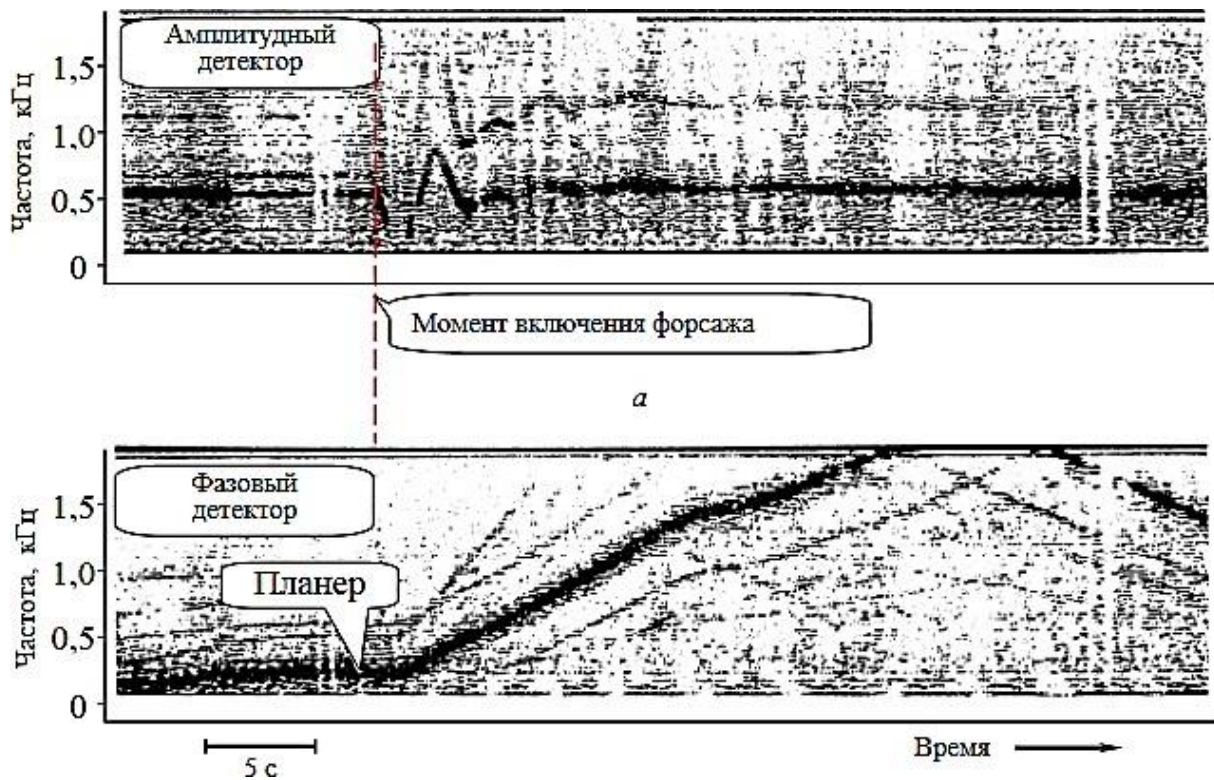


Рис. 4. Спектрально-временные структуры огибающих импульсных радиолокационных сигналов с выходов амплитудного (а) и фазового (б) детекторов

Как видно из сравнения законов изменения спектров частот огибающей отраженных сигналов (выход амплитудного детектора) и квадратурной составляющей комплексной огибающей (выход фазового детектора без ограничителя), маневр обнаруживается раньше по изменению F_v , чем по изменению доплеровского сдвига частоты $F_{дс}$.

Длительность переходных процессов в траектории $F_{дс}(t)$ на порядок и более превышает длительность аналогичных процессов в $F_v(t)$, что дает возможность эффективно использовать информацию о начале маневра для адаптации радиотехнических систем.

Список использованных источников

1. Гарькавый А. А., Чайковский А. В., Ловинский С. И. Двигатели летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
2. Слюсарь, Н. М. Рассеяние и вторичная модуляция радиолокационных сигналов динамическими объектами: моногр. / Н. М. Слюсарь. – Минск: ВА РБ, 2015. – 288 с.