шем планируется рассмотреть возможность замены панелей из углепластика на трёхслойный или многослойные с применением лёгкого заполнителя для обеспечения требуемой стойкости к ударным нагрузкам и достижения массового совершенства.

Список использованных источников

1. Силаева, О.Л., Турусов, Р.А., Ильичёв, В.Д. (2009). Расчёт силы удара при столкновении самолёта с птицей / О.Л.Силаева, Р.А. Турусов, В.Д. Ильичёв. // Материалы Первой Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы авиационной орнитологии». – Москва: ИПЭЭ РАН. С. 68–73.

2. Митряйкин, В.И. Исследование прочности композиционных материалов с ударными повреждениями / В.И. Митряйкин, в О.Н. Беззаметно, Е.В. Кротова // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2020. – № 3. – С. 27 – 33.

3. Карташова, Е.Д. Технологические дефекты полимерных слоистых композиционных материалов / Е.Д. Карташова, А.Ю.Муйземнек // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2017. – № 2(42). – С. 79–89. – DOI: 10.21685/2072-3059-2017-2-7.

4. Максименко, В.Н. Методы расчета на прочность и жёсткость элементов конструкций из композитов: учебник / В.Н. Максименко, И.П. Олегин // – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2015. 424 с.

5. Чепурных, И.В. Прочность конструкций летательных аппаратов. – Комсомольск-на Амуре: КнАГТУ, 2013. – 137 с.

УДК 629.78 ББК 39.67

Д.Д. Борискин, А.П. Плохих

ОСОБЕННОСТИ СОБСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Введение. Функционирование КА тесно связано с обеспечением ЭМС на борту. Нарушение управления и навигации КА из-за сбоев под воздействием внешних электромагнитных факторов представляет серьёз-

ную угрозу, подтверждённую исследованиями [1]. В статье в качестве источника помехового излучения на борту КА рассматривается экспериментальная модель СПД-70, разработанная в НИИ ПМЭ МАИ с ксеноном в качестве рабочего тела [2].

Несмотря на наличие большого числа экспериментальных данных, полученных разными исследователями, на сегодняшний день отсутствует общепринятая физическая интерпретация процессов излучения СПД в радиодиапазоне, что подтверждается обзорным исследованием [3].

Методы исследования. Эксперименты по исследованию частотно-временных характеристик электромагнитного излучения СПД проводились на комбинированном электровакуумном стенде МАИ, подробно описанном в [2]. Для исследования импульсной составляющей излучения СПД в данной работе использовался широкополосный осциллограф с полосой пропускания до 2,5 ГГц, подключённый к малошумящему усилителю и измерительной антенне с рабочим диапазоном частот от 0,8 ГГц до 12,4 ГГц и линейной поляризацией.

Результаты исследования. В ходе экспериментов были записаны осциллограммы длительностью 200 мкс, охватывающие диапазон частот 800-2500 МГц. Для примера на рис. 1 приведена одна из них. Как видно из осциллограммы излучение СПД является квазипериодической последовательностью пачек радиоимпульсов с периодом повторения ≈20 мкс. При этом длительность пачек близка к 10 мкс, а скважность импульсного процесса равна двум.

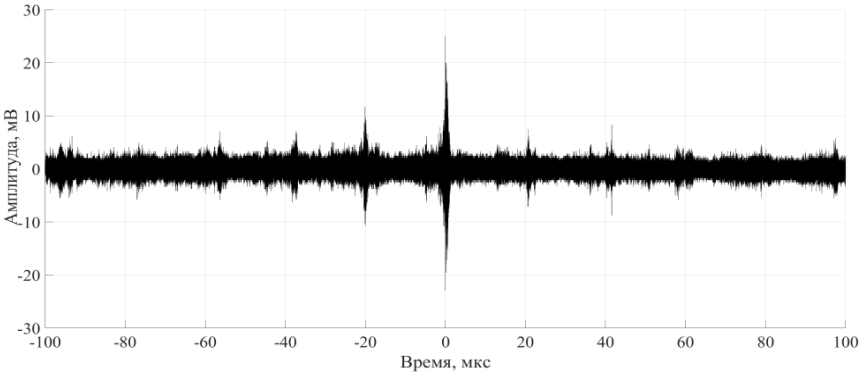


Рис. 1. Осциллограмма процесса на выходе измерительной антенны

Сами пачки состоят из группы импульсов со средней длительностью порядка ≈700 нс (рис. 2), что хорошо стыкуется с исследованием [3]. Для выявления закономерностей частотно-временного заполнения импульса было определено его вейвлет-преобразование, представленное на рис. 3. Можно отметить, импульс имеет многомодальную структуру и состоит из последовательности разночастотных субимпульсов, длительностью порядка ≈50 нс.

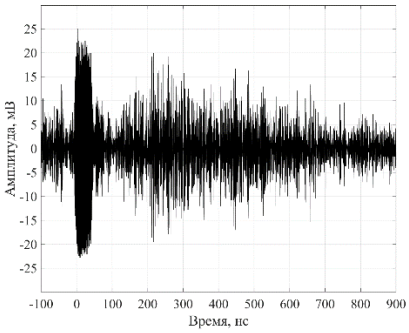


Рис. 2. Осциллограмма импульса входящего в состав пачки

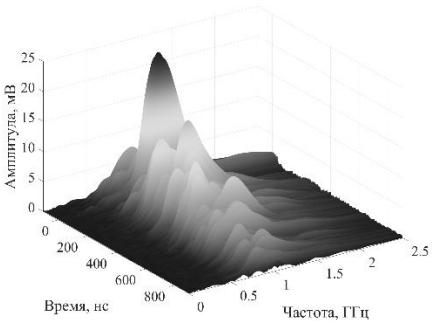


Рис. 3. Вейвлет-преобразование импульса

Для получения информации о структуре субимпульсов была проведена запись излучения с помощью осциллографа с развёрткой ≈100 нс и рассчитана мгновенная частота заполнения с помощью преобразования Гильберта. Примеры многообразия субимпульсов представлены на рис. 4, 5.

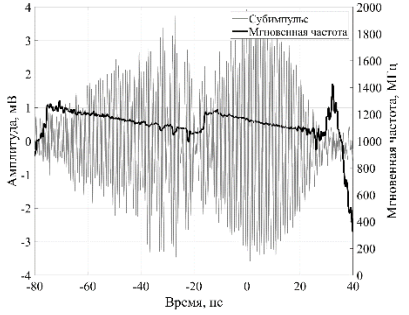


Рис. 4. Субимпульсы с монотонно спадающей частотой

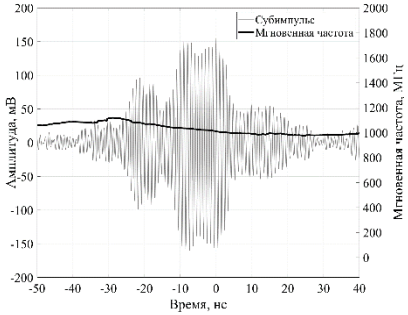


Рис. 5. Субимпульс с постоянной частотой заполнения

Так на рис. 4 представлена суперпозиция двух сложных субимпульсов, с близкими спадающими законами изменения частоты в каждом. На рис. 5 представлена осциллограмма субимпульса с постоянной частотой заполнения.

Заключение. В полученных осциллограммах были обнаружены группы импульсов повышенной амплитуды, формирующие пачки, следующие с квазипериодическим интервалом ≈20 мкс. Импульсы внутри каждой пачки имеют среднюю длительность около ≈700 нс, но различаются частотой заполнения.

Детальный частотно-временной анализ показал, что каждый импульс пачки представляет собой цепочку более коротких, соприкасающихся субимпульсов средней длительностью ≈50 нс. Субимпульсы имеют фиксированную частоту заполнения или частотную модуляцию с различной девиацией.

Полученные результаты уточняют структуру излучения СПД в радиодиапазоне и могут послужить основой для разработки мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости СПД и бортового радиооборудования на этапе проектирования КА.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00515.

Список использованных источников

1. Fortescue P., Swinerd G., Stark J. (ed.). Spacecraft systems engineering. – John Wiley & Sons, 2011.

2. Plokhikh A. P., Vazhenin N. A., Merkurev D. V. Propellant influence on electromagnetic environment generated by stationary plasma thrusters // Cosmic Research. – 2023. – V. 61. – №. 5.

3. Réot F. et al. Spectral dependency of pulsed GHz electromagnetic emission from Hall thrusters on discharge current oscillations //Physics of Plasmas. – 2025. – V. 32. – №. 2.