

**ПРИЧИНЫ И ИСТОЧНИКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ РАДИОПОМЕХ БОРТОВОМУ
ОБОРУДОВАНИЮ И НАЗЕМНЫМ РАДИОМАЯКАМ РСБН И ПРМГ
НА АЭРОДРОМАХ РФ**

М. И. Недобежкин, В. А. Сеницын

ЦНИИ ВВС Минобороны России

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) и посадочная радиомаячная группа (ПРМГ) представляют собой систему в виде совокупности наземных радиомаяков и бортового оборудования, предназначенной для определения местоположения летательного аппарата по измерениям азимута и наклонной дальности относительно наземного радиомаяка, обеспечения выполнения предпосадочного маневра и захода на посадку.

Непреднамеренные радиопомехи бортовому оборудованию и наземным радиомаякам системы РСБН/ПРМГ, исходя из причин и источников их возникновения, следует разделять на внутрисистемные, которые обусловлены влиянием радиоэлектронных средств (РЭС) системы друг на друга, и межсистемные, которые являются результатом воздействия других внешних РЭС.

До начала периода бурного развития средств сотовой связи и телевизионного (ТВ) вещания, который начался в конце 1990-х гг., помехи средствам системы РСБН/ПРМГ на территории РФ практически отсутствовали. В части межсистемных радиопомех это объясняется тем, что в диапазонах работы средств системы РСБН/ПРМГ других РЭС не существовало.

Отсутствие внутрисистемных радиопомех в этот период объясняется принятыми на начальных этапах разработки РЭС системы РСБН/ПРМГ решениями по планированию и разнесению диапазонов частот для приемных и передающих устройств, накопленным опытом эксплуатации РЭС и детальной проработкой вопросов частотного планирования назначений частотно-кодовых каналов аэродромов.

В настоящее время ситуация с радиопомехами бортовому оборудованию и наземным радиомаякам РСБН, ПРМГ, главным образом межсистемными, кардинальным образом изменилась.

Как известно, в полосах радиочастот работы приемных устройств бортового оборудования РСБН на вторичной основе функционируют средства сетей сухопутной подвижной радиосвязи 2 и 3 поколений стандартов GSM-900 и UMTS-900, начато строительство фрагментов опытных сетей 4 поколения стандарта LTE-900.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили вывод о возможности беспомехового функционирования указанных РЭС в общей полосе радиочастот. По результатам проведенных исследований разработаны нормы частотно-территориального разнеса (ЧТР), которые впоследствии были закреплены законодательно Минсвязи РФ. Указанные нормы устанавливает минимальный частотный разнос базовых станций от их удаленности относительно места размещения радиомаяков навигации и посадки (аэродрома).

Анализ загрузки радиочастотного спектра показывает, что полоса работы приемных устройств дальномерного канала бортового оборудования РСБН на 80 % совпадает с полосой излучения базовых станций сетей сотовой связи. Т.е., в распределении полос частот заложена потенциально конфликтная ситуация, которая в полной мере проявляется и на практике, поскольку операторам сетей сотовой связи не всегда удается корректно соблюдать ограничения, связанные с работой РЭС системы РСБН/ПРМГ.

В полосе частот 791...831 МГц также на вторичной основе продолжается развитие сетей сухопутной подвижной радиосвязи 4 поколения стандарта LTE-800.

Анализ загрузки радиочастотного спектра в диапазоне 800 МГц радиомаяками РСБН, ПРМГ, РЭС ТВ вещания и сотовой связи 4 поколения стандарта LTE-800 показывает, что практически все частотные номиналы в полосе работы приемных устройств наземных радиомаяков РСБН попадают в полосы излучения РЭС ТВ вещания или базовых станций сетей сотовой связи. Очевидно, что сети сотовой связи и РЭС ТВ вещания в силу вторичности их статуса (основы) относительно РЭС воздушной радионавигационной службы (РЭС системы РСБН/ПРМГ и другие РЭС) должны учитывать связанные с их функционированием ограничения. Для РЭС ТВ вещания с учетом их локальности и невозможности оперативной перестройки практически всегда удается поддерживать накладываемые ограничения в процессе эксплуатации. Ограничения на функционирование РЭС сотовой связи 4 поколения стандарта LTE-800 практически для всех операторов столь значительны, что соблюдая их, построить полноценно работающие сети с широкой зоной охвата на выделенных сквозных каналах не представляется возможным.

Возникновение межсистемных непреднамеренных радиопомех (НРП) средствам РСБН и ПРМГ от РЭС гражданского назначения в связи с их бурным развитием последние 20 лет происходит в основном от различных нарушений операторов связи:

- в использовании запрещенных к применению частотных каналов, нарушающих нормы частотно-территориального разнеса;
- в использовании частотных каналов для базовых станций с вертикальной поляризацией на базовых станциях с наклонной поляризацией;
- в несоблюдении энергетических ограничений на излучаемую мощность базовыми станциями или ТВ передатчиками;
- в использовании незарегистрированных базовых станций, нарушающих нормы ЧТР.

С 2011 г. полоса частот 935...960 МГц в соответствии с [1] имеет категорию «СИ» (совместного использования) и используется воздушной радионавигационной службой (радиомаяки РСБН, ПРМГ и БО) на первичной основе. В перспективе рассматривается вопрос о переводе категории «СИ» в «ГР» (преимущественного использования гражданскими РЭС) с приоритетом использования гражданских средств, что существенно усложнит условия обеспечения ЭМС бортовых РЭС РСБН и ПРМГ. В этой связи более актуальной становится проблема перевода РЭС системы РСБН/ПРМГ в международный диапазон частот (МДЧ) 960...1215 МГц.

С этой целью разработаны, серийно производятся и поставляются на аэродромы азимутально-дальномерные радиомаяки (АДРМ) «Тропа-СМД» и заданы к разработке радиомаяки инструментального захода воздушных судов на посадку ПРМГ-ОМД.

Для обеспечения функционирования различных типов бортового оборудования (БО) РСБН в режиме «Навигация» в переходный период планируется одновременное использование на аэродромах как радиомаяков РСБН старого парка, так и радиомаяков «Тропа-СМД». БО РСБН старых поколений до конца амортизационного срока или до замены на более современное может использовать радиомаяки РСБН старого парка.

Анализ существующих назначений частотно-кодowych каналов действующих радиомаяков РСБН, ПРМГ аэродромов показывает, что в целом они удовлетворяют условиям внутрисистемной ЭМС.

В настоящее время АДРМ «Тропа-СМД» серийно выпускается и поставляется на аэродромы РФ. Произведены поставки и назначения частотно-кодowych каналов на аэродромах эксплуатации АДРМ «Тропа-СМД». Основная причина, не позволяющая полноценно эксплуатировать АДРМ «Тропа-СМД» во всех режимах, состоит в недостаточном количестве БО РСБН, способного функционировать с маяком в МДЧ. Серийно производится только один тип БО РСБН с возможностью работы в МДЧ. По этой причине использование АДРМ «Тропа-СМД» возможно только БО РСБН новых поколений с функционированием линии «борт-земля» в отечественном диапазоне частот (ОДЧ). Дополнительно к этому поставки АДРМ «Тропа-СМД» на аэродромы осуществлялись без учета наличия у базирующихся ЛА БО РСБН новых поколений, способного с ним работать хотя бы в ОДЧ.

Проведенный анализ в части разработки рекомендаций по назначению частотно-кодовых каналов для АДРМ «Тропа-СМД» в ОДЧ и анализ существующих назначений действующих маяков ПРМГ, РСБН показали, что частотные присвоения всех этих РЭС относительно невзаимосвязаны. Это объясняется использованием у данных РЭС для приема и излучения сигналов разных полос частот, отстоящих друг от друга на 150...250 МГц и имеющих за счет этого естественный частотный дуплекс.

Совершенно другая картина возникает при рассмотрении работы данных РЭС в МДЧ в полосе 962...1000,5 МГц. Дополнительно к имеющимся 4 каналам излучения (дальномерный канал маяка РСБН, каналы ретранслятора дальномера (РД) и глissадного радиомаяка (ГРМ) ПРМГ, азимута и дальности АДРМ «Тропа-СМД») появляются каналы приема РД ПРМГ-ОМД, АДРМ «Тропа-СМД» и канал излучения курсового радиомаяка (КРМ). Все эти средства будут расположены на аэродроме в непосредственной близости друг от друга. Сочетание в достаточно узкой полосе частот (менее 40 МГц) нескольких каналов приема и излучения, а также необходимость в достаточно большом количестве наборов из ЧКК данных РЭС (для развязки между маяками аэродромов) и создает дополнительные сложности в реализации их беспомехового функционирования.

О наличии проблем по влиянию излучений глissадных радиомаяков ПРМГ на работу приемников приемника МДЧ АДРМ «Тропа-СМД» стало известно по результатам лабораторных исследований его помехозащищенности и натурных оценок ЭМО при выборе ЧКК на одном из аэродромов. Идентичность структур сигналов ГРМ и КРМ ПРМГ-ОМД позволила сделать вывод об аналогичном влиянии со стороны КРМ. Однако детальной проработки оценок влияния сигналов ГРМ и КРМ ПРМГ-ОМД на приемное устройство АДРМ «Тропа-СМД», а также нахождения необходимых частотных разносов до настоящего времени не проводилось. Детально не анализировались и позиции АДРМ «Тропа-СМД» и их удаление от ГРМ и КРМ ПРМГ на аэродромах. По этой причине произведенные частотные назначения АДРМ «Тропа-СМД» учитывают в основном возможность функционирования их линии «борт-земля» в ОДЧ, где также имеются проблемные моменты из-за развития телевидения по результатам проведения в последние годы конверсионных мероприятий, а также действующие и перспективные назначения глissадных радиомаяков существующих ПРМГ. При начале функционирования КРМ ПРМГ-ОМД в МДЧ существующего частотного разноса может оказаться недостаточно для беспомехового функционирования, тем более при наличии отступлений от типовой схемы размещения средств.

Существуют ограничения в использовании частотно-кодовых каналов АДРМ «Тропа-СМД» из-за влияния излучений ГРМ и КРМ ПРМГ-ОМД. Из заявленных 56 ЧКК для АДРМ «Тропа-СМД» реально могут использоваться около 30%. Назначения частотно-кодовых каналов АДРМ «Тропа-СМД» произведены для аэродромов, расположенных в разных регионах страны. По мере накопления данных маяков в эксплуатации такого малого количества относительно пригодных для назначения ЧКК может оказаться недостаточно, особенно для регионов с большой плотностью аэродромной сети.

С учетом вышеизложенного представляется целесообразным до начала проведения испытаний образца ПРМГ-ОМД выполнить мероприятия, направленные на исключение взаимного влияния рассмотренной группы средств, и обеспечить их гарантированное беспомеховое функционирование при определенных частотных разносах с учетом схемы типового размещения средств или с отступлением от нее. Основная цель проведения таких мероприятий – возможность использования в максимально более полной мере имеющегося частотного ресурса нижней части МДЧ (960...1000,5 МГц).

Возникновение межсистемных НРП в настоящее время возможно также при модернизации средств и снижении характеристик помехозащищенности в процессе этого. Такие факты свидетельствуют об отсутствии проработки вопросов ЭМС, должного контроля к характеристикам РЭС в процессе самой модернизации и испытаний по результатам выполненных работ. Примером может служить модернизация радиомаяка РСБН-4Н в части замены приемных

устройств и импульсно-навигационной аппаратуры (РСБН-4НМ). Помехозащищенность приемных устройств маяков РСБН-4НМ от основных помеховых сигналов рабочего диапазона (ТВ вещание, сотовая связь стандарта LTE-800) оказалась существенно хуже, чем у предшественников-маяков РСБН-4Н. По этой причине на отдельных аэродромах в результате замены наземного оборудования РСБН-4Н на РСБН-4НМ появились жалобы на недопустимое помеховое воздействие, хотя до замены обеспечивалось беспомеховое функционирование.

Несоблюдение параметров ЭМС РЭС в ходе модернизации может являться причиной возникновения и внутрисистемных НРП. Таким примером может служить модернизация радиомаяка ПРМГ-76У в части замены передающих устройств электролампового исполнения на твердотельные (ПРМГ-76УМ). Соотношение мощностей передатчиков РД и ГРМ в первых серийных образцах ПРМГ-76УМ оказалось сниженным на 6 дБ по сравнению с аналогичным показателем в ПРМГ-76У, что явилось причиной отказов дальномерного канала БО РСБН из-за влияния преобладающего глассадного канала на небольших расстояниях от ВПП.

Выводы

1. При разработке и внедрении средств в новых и традиционных полосах радиочастот вопросам ЭМС необходимо уделять особое внимание. Помимо теоретических оценок возможного помехового влияния по результатам анализа загрузки полос и диапазонов частот следует выполнять лабораторные исследования на макетах и прототипах приемных устройств и практические эксперименты по оценкам уровней сигналов в районах предполагаемого размещения РЭС. С тем, чтобы на более ранних стадиях разработки выявить потенциально конфликтные ситуации, связанные с возможным помеховым воздействием.

2. В целях исключения влияния внутрисистемных радиопомех представляется целесообразным до начала проведения испытаний образца ПРМГ-ОМД выполнить мероприятия, направленные на исключение взаимного влияния РЭС системы РСБН/ПРМГ, обеспечить их гарантированное беспомеховое функционирование и эффективное использование частотного ресурса.

3. Библиографический список

1. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами РФ. Постановление Правительства РФ от 21.12.2011 г. №1049-34.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА СИС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО СИГНАЛА НА ВИДЕОЧАСТОТЕ

А. В. Нестерович, В. А. Сеницын, А. Ю. Яблоков

*НПП «Цифровые радиотехнические системы», г. Санкт-Петербург
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*

Исследуется алгоритм реализации фильтра нижних частот для формирования квадратур в блоке цифровой обработки сигнала аппаратуры TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System). Показано, что с определенными параметрами СИС (cascaded integral-comb filter) фильтра, которые определяются порядком гребенчатого фильтра и числом секций гребенки-интегратора можно получить требуемую амплитудно-частотную характеристику фильтра.

Введение. В схему формирователя комплексного сигнала на видеочастоте (ФКСВ) входит гетеродин, перемножитель, ФНЧ и дециматор. Структурная схема формирователя представлена на рис. 1.