УДК 621.396.98.004.1

Затучный Д.А.

Московский государственный технический университет гражданской авиации

К ПРОБЛЕМЕ УСТОЙЧИВОСТИ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИЩЁННОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО СУДНА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

В данной статье были исследованы вопросы уязвимости и устойчивости применения средств спутниковой навигации в условиях радиопомех различного происхождения. Приведены основные факторы, приводящие к потере устойчивости систем безопасности, основанных на использовании спутниковых радионавигационных систем. Проведён анализ условий и ограничений использования сигналов спутниковой радионавигационной системы в условиях непреднамеренных помех. Был сделан вывод, что задача устойчивости систем навигации к непреднамеренным помехам является одной из составляющих более общей задачи электромагнитной совместимости средств радионавигации с другими радиоэлектронными и связными устройствами. Получен результат о периодах времени, когда будет происходить снижение вероятности обнаружения.

Ключевые слова:

УСТОЙЧИВОСТЬ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, НЕПРЕДНАМЕРЕННАЯ ПОМЕХА, СПУТНИКОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА, РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Введение

В последние годы широкое внедрение в воздушные транспортные системы спутниковых технологий столкнулось с проблемой достоверности и качества получаемых со спутниковых систем навигационных сигналов.

Проблемы возникают из-за того, что в зонах межгосударственных и локальных военных конфликтов, а также при действиях террористических групп возрастает угроза выключения навигационных сигналов и их радиотехнического подавления.

С учетом того, что возможные зоны локальных конфликтов могут располагаться вблизи территориальных границ Российской Федерации, и зон международной ответственности России за безопасность полетов, а также имея в виду, тот факт, что средства радиотехнического подавления имеют большой радиус действия и недостаточную пространственную избирательность, реально предположить, что для определенных зон Российской Федерации возникает реальная угроза возможности обеспечения безопасности движения воздушного транспорта.

Целью настоящей работы является исследование вопросов уязвимости и устойчивости применения средств спутниковой навигации в условиях различных радиопомех.

Имеет смысл привести несколько слов о принятой терминологии.

Термины уязвимость и устойчивость являются переводом английского vulnerability, принятого для определения проблемы в соответствующих документах и материалах Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Указанный английский термин имеет два варианта перевода на русский язык:

уязвимость,

степень защищенности или устойчивость.

Вместе с тем понятия уязвимость и устойчивость (степень защищенности) являются в определенном смысле противоположными (или взаимоисключающими), поскольку одно из этих понятий определяет вероятность наличия определенного события, а второе – вероятность отсутствия этого события.

Проблемы устойчивости и радиотехнической защищённости транспортных систем, использующих точные системы спутниковой навигации

Приведём основные факторы, приводящие к потере устойчивости систем безопасности, основанных на использовании спутниковых радионавигационных навигационных систем (СРНС).

Существует две группы факторов, приводящих к нарушению функционирования систем спутниковой навигации [1]:

отказы или потеря работоспособности космического и/или наземного сегментов СРНС;

помехи, вызывающие искажение сигналов СРНС в пространстве.

Первая группа факторов возникает в ситуациях, характеризующихся недостаточным числом спутников в данном созвездии в связи с отсутствием ресурсов, необходимых для поддержания данного созвездия, срывом (срывами) запуска или отказами спутников. Отказ сегмента управления или ошибка человека могут потенциально привести к отказу нескольких спутников в созвездии.

Другая опасность связана с прерыванием или ухудшением качества навигационного обслуживания в чрезвычайном положении, когда каждое государство, согласно Чикагской конвенции о международной гражданской авиации, располагает свободой действий. Если отказ в предоставлении сигнала происходит из-за регионального конфликта, будет иметь место подавление всех гражданских сигналов СРНС, и указанное воздушное пространство будет закрыто для полетов гражданских воздушных судов независимо от наличия сигнала. Другой менее вероятной ситуацией в этом случае может иметь место частичное ухудшение качества обслуживания или отказ в предоставлении сигналов основных спутниковых систем или их функциональных дополнений во всей зоне действия [2].

При дальнейшем исследовании рассматривается вторая группа факторов, а именно совокупность помех навигационным сигналам. Указанные помехи включают в себя [3]:

Неумышленные помехи природного происхождения, к которым относятся:

Помехи от ионосферного влияния. Это влияние наиболее неблагоприятно в районе геомагнитного экватора и в областях полярного сияния (около магнитных полюсов). Неоднородности в ионосфере вызываются солнечной активностью, и приводят к ежедневным изменениям прохождения радиоволн (день/ночь), а более неблагоприятные изменения определяются 11-летним солнечным циклом. Быстрые изменения в ионосфере могут приводить к потере сигнала СРНС из-за сцинтилляции;

Атмосферные эффекты. Воздействие этих эффектов сравнительно невелико. Так, интенсивные осадки вызывают затухание сигналов СРНС только на доли децибел, что не оказывает существенного влияния на эксплуатацию системы, а тропосферные влияния учитываются при разработке системы, и поэтому все эти факторы не относятся к вопросу уязвимости.

Неумышленные помехи искусственного происхождения, так называемые

непреднамеренные помехи. К ним относятся все радиотехнические сигналы и их гармоники, излучения которых попадают в полосу сигналов СРНС.

Большинство случаев воздействия радиочастотных помех на СРНС связано с бортовыми системами. По результатам опыта, накопленного в ходе использования СРНС, выявлено несколько основных источников непреднамеренных помех (такие, как паразитные излучения или гармоники оборудования ультра коротковолновой (УКВ) -связи, внеполосные и паразитные излучения оборудования спутниковой связи и др.).

Наземные источники таких помех в настоящее время включают в себя оборудование подвижной и фиксированной УКВ-связи, радиолинии, работающие в полосе частот СРНС, гармонические составляющие излучения телевизионных передающих центров, некоторые радиолокационные системы, системы подвижной спутниковой связи и системы военного назначения. Вероятность появления таких помех зависит от установленных государствами правил в области использования спектра и распределения частот, а также обеспечения соблюдения установленных правил в каждом государстве или регионе.

Другим видом радиопомех искусственного происхождения являются преднамеренные помехи. Возможность создания таких помех облегчается низкой мощностью сигналов на входе приемника СРНС.

Влияние преднамеренных помех СРНС существенно изменяется из-за следующих факторов:

Плотность (интенсивность) движения воздушных транспортных средств: влияние может быть более неблагоприятным в областях высокого интенсивного движения, где потенциально большее количество транспортных средств может потерять навигацию по СРНС, и тем самым увеличить рабочую нагрузку на диспетчеров и пилотов;

Возможность использования других навигационных систем, которые могут использовать потребители. Влияние помех при этом существенно уменьшается;

Возможность использовать независимое наблюдение: если такое наблюдение доступно, диспетчеры могут помочь облегчить безопасное восстановление движения после потери навигации по СРНС;

Местоположение и мощность источников помех: действие помех ограничено прямой видимостью. Для источников помехи, расположенных на поверхности земли, размер неподавляемой зоны уменьшается с высотой, повышая критичность навигации.

Влияние малой мощности на входе приемника СРНС несколько компенсируется за счет обработки сигнала СРНС. Например, сигнал GPS использует частоту тактирования 1,023 МГц с длиной кода 1023 бит, обеспечивая 26 dBт дополнительной защиты по отношению к влиянию помех для сигнала непрерывной частоты.

3. Анализ условий и ограничений использования сигналов СРНС в условиях непреднамеренных помех

Задача устойчивости систем навигации к непреднамеренным помехам является одной из составляющих более общей задачи электромагнитной совместимости средств радионавигации с другими радиоэлектронными и связными устройствами (РЭС).

Указанная задача является непременной обязательной составляющей процесса проектирования и ввода систем СРНС, при которой рассматриваются две стороны вопроса [4]:

влияние на приемники СРНС излучений других РЭС,

воздействие излучений спутниковых передатчиков СРНС на приемники других РЭС, входящих в системы обеспечения безопасности движения.

Особенно это относится к работе средств спутниковой радионавигации в совместно используемых (разными РЭС) участках диапазонов L2 и L3 (L5).

Применительно к средствам обеспечения безопасности движения такими основными видами «других» РЭС являются радиолокаторы систем управления движения диапазона L2 ($\lambda_{рлс}$ = 23 см) и наземные системы радионавигации типа DME – диапазон L3.

На территории Российской Федерации в диапазоне L2 используются радиолокационные средства УВД гражданской авиации – РЛС 23-х сантиметрового диапазона. Это трассовые радиолокаторы ТРЛК-10/11 и аэродромные радиолокаторы ТРЛК-А («Утес-А»), «Экран-85», «Иртыш» и ДРЛ 7см. Всего на территории РФ по состоянию на текущее время находилось в эксплуатации 12 комплексов ТРЛК, 38 комплексов «Экран-85» и «Иртыш» и 106 радиолокаторов ДРЛ 7 см диапазона. Следует отметить, что указанное количество РЛС следует принять для исследования, как максимальное, поскольку они будут выводиться из эксплуатации по мере истечения их ресурса, а их восполнение будет осуществляться в меньших объемах с учетом постепенного перехода Российской системы УВД на методы наблюдения с использованием спутниковых систем навигации типа АЗН-В. Вместе с тем, РЛС в составе системы должны оставаться на достаточно долгий переходный период для обеспечения контроля за необорудованными средствами АЗН-В воздушными судами, а в аэродромных системах возможно их использование в качестве резервных средств на всю просматриваемую перспективу.

Для других видов транспорта (кроме гражданской авиации) использование средств за контролем безопасности движения в диапазоне L2 СРНС не предусматривается.

В диапазоне ГЛОНАСС L3 и GPS используются наземные радионавигационные средства гражданской авиации DME. На территории Российской Федерации станции DME имеют ограниченное применение только для оборудования некоторых международных авиатрасс. Общее количество станций DME в России по данным на настоящее время составляло 12 комплектов. Для сравнения, в США установлено более 1000 станций DME. По этой причине, а также вследствие того, что при вводе в СРНС диапазонов L3 (L5) вопрос совместимости неоднократно исследовался в ИКАО и выработаны условия совместного использования спектра, вопрос совместимости в диапазоне L3 (L5) для россиян неактуален и в дальнейшем исследовании не рассматривается.

Электромагнитная совместимость и вопросы совместного использования полосы частот (1215-1300 МГц) неоднократно рассматривался как в ИКАО, так и в Международном союзе электросвязи (МСЭ).

Основные выводы, сделанные в ИКАО, заключаются в следующем [5]:

использование диапазона L2 дает ряд преимуществ пользователям, в частности для условий работы в условиях неумышленных помех;

поскольку спектр L2 является совмещенным и в нем работают средства, не входящие в СНС, каждое государство должно само решить вопрос об использовании этого диапазона в территориальных зонах своей юридической ответственности.

При этом при обсуждении на рабочих группах комиссии GNSSP в Брюсселе в апреле 2002 года была рассмотрена проблема ввода частоты L2C в ряде государств.

В этих документах отмечено, что спектр является суверенным, и, следовательно, каждое государство может использовать L2 только в случае, если не имеется никаких служб, создающих помехи в L2, и, второе, что очень трудно защитить весь спектр для авиации и что авиационная позиция в МСЭ может быть ослаблена, если какие-либо государства не будут использовать спектр L2C.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований дали количественную оценку влияния космических аппаратов (КА) СРНС на радиолокационные системы управления воздушным движением (РЛС УВД) в диапазоне частот 1215-1300 МГц и позволяют оценить условия их совместного использования [6].

В настоящее время огибающими сигналов СРНС занята полоса частот 1215-1257 МГц. При этом необходимо отметить, что данные сигналы являются достаточно широкополосными (20,5 МГц – сигнал Р-кода в системе GPS и 10,22 МГц – сигнал высокой точности (ВТ) в системе ГЛОНАСС). Огибающая текущих сигналов GPS перекрывает рабочие частоты РЛС «Экран-85» (1220 МГц, 1232 МГц и 1236 МГц), а огибающая сигналов СРНС ГЛОНАСС - три нижние частоты РЛС «Утёс» (1243 МГц, 1248 МГц и 1253 МГц).

Максимальный уровень мощности помех, создаваемых сигналами ВТ системы ГЛОНАСС на входе РЛС «Утес-А» составляет примерно (минус 133,4 дБВт в 1 МГц). Это незначительно превышает порог (минус 139,8 дБВт в 1 МГц), установленный для данной РЛС по результатам испытаний. Приблизительно такие же уровни помех могут создаваться действующими сигналами GPS на РЛС «Экран-85».

Снижение вероятности обнаружения будет происходить только в ограниченные периоды времени, когда спутник СРНС и отлеживаемый объект одновременно будут находиться в пределах достаточно узкого угла относительно вертикальной плоскости оси диаграммы направленности антенны РЛС. При введении новых сигналов в системах GPS и ГЛОНАСС в диапазоне 1,2 ГГц спектральная плотность мощности сигналов увеличивается приблизительно на 13 дБ. В этом случае вероятность указанного события возрастет до 0,03.

Тем не менее, даже в указанных условиях РЛС типа «Утес» будет успешно функционировать с требуемым качеством. Это объясняется применением в данной РЛС двух частот для первичной радиолокации, разнесенных на 56 МГц, а также применением вторичной радиолокации в другом диапазоне частот. Работа РЛС «Экран-85» с требуемым качеством при использовании в системах GPS и ГЛОНАСС новых сигналов в диапазоне 1,2 ГГц может быть обеспечена путем планирования рабочих частот для каждой РЛС.

Ситуация может существенно осложниться в случае ввода в эксплуатацию СРНС GALILEO. Огибающей сигналов СРНС «GALILEO» будут перекрыты рабочие частоты РЛС «Экран – 85» – 1258 МГц, 1262 МГц, 1274 МГц и 1278 МГц и почти весь нижний диапазон частот РЛС «Утес». Это может привести к существенному ограничению применения РЛС «Экран-85» (требуемое качество работы может быть обеспечено только при работе на частоте 1216 МГц). Для РЛС «Утес» в этом случае будет ограничено использование первой пары рабочих частот (1243 МГц и 1299 МГц). Таким образом, помеховое воздействие СРНС GALILEO в диапазоне частот 1260-1300 МГц приведёт к невозможности работы на некоторых частотах РЛС «Утес» и существенному ограничению применения РЛС «Экран-85».

При развёртывании СРНС GALILEO и сокращении вследствие этого числа используемых рабочих частот РЛС L-диапазона, в некоторых районах УВД с высокой плотностью размещения РЛС L-диапазона возможно возникновение внутрисистемных помех. Поэтому, в этих районах может возникнуть необходимость проведения дополнительных исследований по оценке электромагнитной совместимости функционирующих станций [7].

На основании проведенных исследований целесообразно принятие ограничений на излучения систем СРНС в диапазоне частот 1260-1300 МГц с целью обеспечения достаточного частотного ресурса, свободного от помех СРНС, для работы РЛС УВД с требуемым качеством. В качестве ограничения для систем СРНС в полосе частот 1260-1300 МГц целесообразно предложить принять уровень ППМ = 150,3 дБВт/м^2 в 1 МГц (получен по результатам испытаний РЛС «Утес-Т»). В крайнем случае, в качестве порогового уровня можно рассматривать значение ППМ = -144 дБВт/м^2 в 1 МГц (соответствует действующим сигналам системы ГЛОНАСС), но при этом заданная вероятность обнаружения может не выполняться в течение 2% времени работы РЛС.

4. Заключение

На основе изложенного, в данной статье можно сделать следующие выводы:

1. Непреднамеренные помехи всех видов учитывались при создании систем GPS и ГЛОНАСС, поэтому в конструкциях приемников и других средств систем предусмотрены соответствующие меры по их парированию.

2. Нормы по защите от непреднамеренных помех предусмотрены стандартами и рекомендуемой практикой (SARP's) ИКАО и учитывают совместимость средств в новых гражданских диапазонах L2 и L3 (L5).

3. Системы СРНС при работе в диапазоне L2 оказывают некоторое влияние на радиолокационные средства УВД гражданской авиации, что может привести к снижению на 2-3% вероятности обнаружения малоразмерных воздушных судов на предельных дальностях РЛС.

4. Указанное снижение характеристик должно учитываться при проектировании радиолокационных систем наблюдения и в необходимых случаях влияние взаимодействия может быть скомпенсировано за счет использования конструктивно-технических методов и операционных процедур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бортовые устройства спутниковой радионавигации (под ред. Шебшаевича). - М., Транспорт», 1998 г.

2. Квалификационные требования. КТ-34-01 «Бортовое оборудование спутниковой навигации». - Утверждены Авиационным регистром Межгосударственного Авиационного Комитета, 1999 г.

3. Затучный Д.А. Оценка степени влияния различных факторов на навигационные определения ВС с использованием СРНС. – Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2010, №159, с.143-147.

4. Затучный Д.А. Результат построения оптимального созвездия по двум признакам контроля целостности. – Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», 2008, т.1, с.305-307.

5. Затучный Д.А. Классификация НКА из СРНС, полученной комплексированием, и оценка надёжности навигационного обеспечения ВС с использованием этой СРНС. - Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 2006, №99, с.38-45.

6. Затучный Д.А. Повышение точности определения местоположения воздушных судов на основе учёта ошибок 1 и 2 рода при выборе набора спутников. - Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, №1 (14), 2017, стр. 39-46.

7. О.А. Евтушенко, Д.А. Затучный. Улучшение характеристики каналов передачи навигационных данных при управлении воздушным движением с автоматическим зависимым наблюдением и навигационных поправок в дифференциальной подсистеме спутниковой радионавигационной системы путем их навигационной поддержки. - Фундаментальные исследования, №2, Часть 17, 2015, стр. 3695-3699.

УДК 629.7.058.42, 621.396.96

Боков[1] А.С., Важенин[1] В.Г., Иофин[2] А.А., Мухин[2] В.В.

[1]ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт радиоэлектроники и информационных технологий, Екатеринбург, Россия

[2]АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь», Каменск-Уральский Свердловской обл., Россия

КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СКВОЗНЫХ ИСПЫТАНИЙ, ТЕСТИРОВАНИЯ И ПРОВЕРКИ БОРТОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ

Методы полунатурного моделирования для различных бортовых радиолокационных систем позволяют проводить полную проверку алгоритмов работы и аппаратуры РЛС в лабораторных условиях. Для этого в основе комплексов полунатурного моделирования используют имитаторы отраженных сигналов, способные учесть основные параметры возможной фоноцелевой обстановки. Рассмотренный способ формирования отраженного сигнала как комбинации сигналов, соответствующих отражению от фацетов цели и подстилающей поверхности, позволяет упростить построение имитатора для работы в широком диапазоне имитируемых дальностей, скоростей движении целей и самой РЛС, особенно при переменных параметрах зондирующего сигнала. Приведены примеры построения имитатора, а также результаты экспериментальных исследований полунатурного моделирования работы серийных радиовысотомеров

Ключевые слова:

ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАДИОЛОКАТОР, РАДИОВЫСОТОМЕР, РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ЦЕЛЬ, ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, ЛИНЕЙНАЯ ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Введение

Лётные и натурные испытания различных бортовых РЛС, радиовысотомеров (РВ), радиодальномеров (РВД) традиционно используются на заключительных стадиях опытно конструкторских работ, при нали-