

УДК 396.396.98

И.А. Кашаев, С.И. Смык, А.К. Шейгас

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

Уязвимость систем аэронавигационного обеспечения

Рассматриваются причины уязвимости спутниковых радионавигационных систем и, в частности, систем аэронавигационного обеспечения – как основы систем управления воздушным движением. Определены направления исследований по снижению уязвимости систем аэронавигационного обеспечения. Проводится анализ возможных угроз функционированию комплексированных аэронавигационных систем, определяется круг научно-технических задач, требующих решения и обосновывается выбор направления исследований по снижению уязвимости систем аэронавигационного обеспечения.

Ключевые слова: системы аэронавигационные обеспечения, уязвимость системы, управление воздушным движением.

Введение

Постановка проблемы. Использование спутниковых радионавигационных систем (СРНС) в авиации определяется возможностями удовлетворения предъявляемых высоких требований к точности и надежности навигационных определений. Самые высокие требования к точности связаны с обеспечением летных испытаний, калибровкой в полете и геодезической съемкой.

Аэронавигационные системы рассматриваются Международной организацией гражданской авиации как один из важнейших информационных каналов, который будет составлять основу перспективных комплексов управления воздушным движением [1]. Принцип их построения предусматривает установку на борту летательного аппарата комплексных навигационных систем, позволяющих определять координаты по сигналам СРНС и постоянно передавать эти данные по радиоканалу

на наземные диспетчерские центры, а также остальным участникам воздушного движения.

Целесообразность широкого внедрения процедур захода на посадку по СРНС в практику авиации, особенно на аэродромах с несовершенным радиотехническим обеспечением навигации и посадки обеспечит эксплуатационный выигрыш за счет возможности сокращения времени маневрирования, а в перспективе достижения полной независимости от работы наземных радиотехнических средств посадки при возможности использования сравнительно низких посадочных минимумов.

Обобщенные требования к навигационному обеспечению авиационных потребителей приведены в табл. 1. Проведенные исследования и проработки предполагают, что уровни радиопомех БА СРНС не превосходят допустимых значений, при которых обеспечиваются заданные точностные и другие показатели.

Таблица 1

Обобщенные требования к навигационному обеспечению авиационных потребителей

| Решаемые задачи | Точность определения координат, м | Целостность | Доступность, % |
|--|-----------------------------------|--------------|----------------|
| ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ | | | |
| Специальные полеты (поиск, спасение, монтажные работы) | 1...10 | 0,999 | 0,999...0,9999 |
| Заход на посадку по 1 -ой категории H=30 м | 4,5...8, 5/1,5...2 | 0,999999 | 0,999999 |
| Заход на посадку по 2-ой категории H=15 м | 2,3...2,6/ 0,7...0,85 | 0,9999999 | 0,99999999 |
| Заход на посадку по 3-ей категории H = 2,4 м | 2/0,2...0,3 | 0,9999999995 | 0,999999999 |

В последние годы была признана возможность преднамеренного нарушения функционирования СРНС или ограничения потребителей в доступе к радионавигационным услугам.

Подобные действия могут привести не только к ухудшению требуемых характеристик, уменьшению

рабочих зон систем, кратковременному нарушению обслуживания в ограниченных районах, но и к катастрофическим последствиям – нарушению функционирования системы навигационного обеспечения в больших географических областях в течение длительных периодов времени.

Анализ исследований и публикаций. Растущая во всем мире зависимость вооруженных сил от СРНС делает механизмы нарушения навигационных сигналов мощным оружием в радиоэлектронной войне. Исследованию воздействия помех и возможностей ограничения в доступе к радионавигационным услугам СРНС посвящено большое число работ [1 – 3, 5]. Наземные источники помех в настоящее время включают в себя средства подвижной и фиксированной ОВЧ-связи, прямые радиолинии, работающие в полосе частот СРНС, гармонические составляющие излучения телевизионных станций, некоторые радиолокационные системы, системы подвижной спутниковой связи и системы военного назначения. Вероятность появления таких помех зависит от правил государства в области использования спектра и распределения частот, а также обеспечения соблюдения установленных правил в каждом государстве или регионе.

СРНС включают в себя космический сегмент, наземный сегмент и сегмент пользователей. Так как целенаправленное нарушение функционирования космического сегмента маловероятно, то угрозы системе в целом можно разделить на две группы:

- угрозы наземной инфраструктуре системы;
- угрозы пользовательским операциям

Цель работы. Необходимо провести анализ возможных угроз функционированию комплексированных аэронавигационных систем, определить круг научно-технических задач, требующих решения и обосновать выбор направления исследований по снижению уязвимости систем аэронавигационного обеспечения.

Основная часть

К возможным воздействиям на наземный сегмент системы можно отнести:

- нарушение функционирования центров управления и контрольных станций и, как следствие, нарушение функционирования системы;
- нарушение функционирования каналов передачи информации в системе.

К угрозам для операций пользователей можно отнести:

- подавление навигационных сигналов (НС) или сигналов передачи дифференциальной корректирующей информации (ДКИ);
- передачу сигналов имитирующих НС или сигналы передачи ДКИ.
- ретрансляцию навигационных сигналов с преднамеренно введенной временной задержкой.

Разрушение наземной инфраструктуры системы навигационного обеспечения возможно лишь при вооруженных конфликтах или террористических актах. Наиболее вероятно – радиоэлектронное подавление и передача ложных навигационных сиг-

налов (имитация) и сигналов управления (в том числе сигналов дифференциальных корректирующих поправок).

Механизмы воздействия на сегмент пользователей и наземный сегмент СРНС можно разделить на неумышленные и преднамеренные. Неумышленные механизмы включают ионосферные эффекты, помехи от радиостанций и экранирование сигнала. Преднамеренные механизмы разрушения включают радиоэлектронное подавление, имитация, переизлучение задержанного сигнала.

Основная причина уязвимости СРНС - низкая мощность сигнала. При этом выделены два основных эффекта: снижение точности определения навигационных параметров и срыв слежения за кодом и несущей при превышении отношения помеха/сигнал (С/П) на входе приемника некоторого порогового значения, являющегося одной из основных характеристик помехоустойчивости СРНС. Превышение порогового отношения С/П приводит к полной неработоспособности СРНС.

На рис. 1 приведена зависимость радиуса подавления как функции отношения С/П. Анализ показывает, что прием С/А кода может быть нарушен при отношении помеха/сигнал 22 дБ. Если известно точное время, то возможен прием Р (Y) кода, пока отношение не превышает 34 дБ. При использовании специальных сигналов и методов обработки прием навигационных сигналов может быть возможен при отношении 44 дБ.

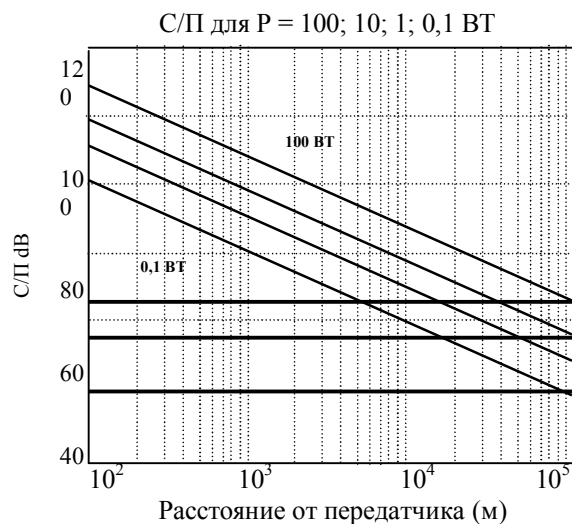


Рис. 1. Зависимость радиуса подавления как функции отношения П/С

Такие уровни ошибок приводят к погрешностям определения координат и высоты полета ЛА порядка 60...80 м при геометрических факторах Г=3...4, свойственных использованию одной СРНС.

Полная мощность переданного сигнала – приблизительно 30 Вт, эта мощность распределена в полосе частот 20 – 46 МГц. На поверхности Земли

полная мощность сигнала только -160 дБВт. Самая высокая спектральная плотность мощности этого сигнала: -220 дБВт/Гц, когда номинальный уровень фонового шума - приблизительно -205 дБВт/Гц.

Сигналы СРНС могут быть подавлены на значительном расстоянии даже маломощными дешевыми передатчиками. На аппаратуру авиационных потребителей влияние сильнее, поскольку она находится в прямой видимости при больших расстояниях, чем наземная.

Эффект от влияния наземного передатчика помех мощностью 4 ватта на НАП ЛА иллюстрирует рис. 2. Как показано, нарушение работы бортового приемника происходит на расстоянии порядка 150 км от передатчика помех.

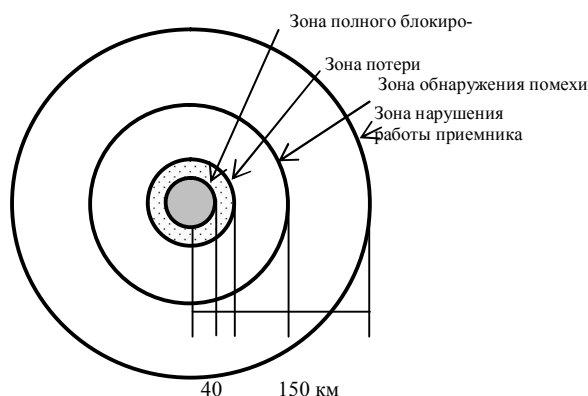


Рис. 2. Зоны подавления сигнала СРНС

1. Непреднамеренные помехи. Функционирование СРНС восприимчиво к ионосферным эффектам, экранированию и многолучевости, помех от узко и широкополосных источников.

Некоторые природные явления, например ионосферные возмущения и мерцания могут быть предсказаны. Эти нарушения являются наиболее значимыми для пользователей одночастотных (L1) приемников.

Непреднамеренные радиопомехи: загоризонтные РЛС; сигналы телевизионных каналов 22, 66, 67; сигналы телевидения высокой четкости; аппаратура мобильной спутниковой связи; многолучевость.

Особенности электромагнитной обстановки в районах аэропортов (аэродромов) обусловлены наличием специальных РЭС, предназначенных для обеспечения систем управления и посадки летательных аппаратов (ЛА). К ним, в частности, относятся средства радиолокационной техники, радионавигации, инструментальной посадки, автоматизированных систем управления и наведения.

В состав оборудования ОСП входят две приводные радиостанции, расположенные на удалении от начала взлетно-посадочной полосы (ВПП), равных 1050 ± 100 м и 4000 ± 200 м, и два маркерных радиомаяка, расположенных совместно с этими радио-

станциями. Приводная радиостанция, расположенная ближе к ВПП, совместно с маркерным радиомаяком образует ближний приводной радиомаркерный пункт (БПРМ). Вторая радиостанция, расположенная дальше от ВПП, совместно с маркерным радиомаяком образует дальний приводной радиомаркерный пункт (ДПРМ).

В составе наземного оборудования систем посадки СП-1, СП-2, ССП-1(0) радиопеленгатор разворачивается на продолжении оси ВПП на удалении $4000 \text{ м} \pm 5\%$ от ее торца, т.е. в районе ДПРМ (если отсутствует ПРМГ), или по центру ВПП совместно с радиолокационной системой посадки (РСП) (если аэродром оборудован ПРМГ). Кроме того, пеленгатор входит в состав РСП. Здесь он сопряжен с радиостанциями и индикаторами системы посадки.

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) размещается, как правило, на удалении $300 \dots 600$ м от оси ВПП и 1200 м от ее центра.

В состав ПРМГ входят курсовой и глиссадный радиомаяки, а также и ретранслятор дальномера. КРМ размещается на продолжении оси ВПП на удалении $500 \dots 1200$ м от ее торца с противоположной стороны захода на посадку ЛА. Совместно с КРМ размещается и ретранслятор дальномера, образуя дальномерно-курсевой радиомаяк (ДКРМ). ГРМ размещается на расстоянии $150 \dots 250$ м от торца ВПП (к ее середине) и на расстоянии $120 \dots 180$ м от ее оси (влево или вправо). РСП размещается приблизительно на расстоянии половины длины ВПП в $150 \dots 200$ м от ее оси.

Таким образом, средства радиотехнического обеспечения (РТО) располагаются на аэродроме в строго определенных местах, в зависимости от типа технического комплекса, которым оборудован конкретный аэродром. Такое расположение обусловлено привязкой средств РТО к ВПП с целью обеспечить максимально точное определение координат ЛА и безопасность посадки. Типовая схема размещения РЭС на аэродроме приведена на рис. 3.

На борту ЛА источниками непреднамеренных помех для навигационной аппаратуры потребителя (НАП) могут быть следующие радиоэлектронные средства:

- дальномерный канал аппаратуры радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) и аппаратура определения взаимных координат на основной частоте излучения по основному каналу приема;
- аппаратура связи ДМВ диапазона;
- аппаратура связи МВ диапазона;
- радиовысотомеры.

Необходимо отметить, что условия электромагнитной обстановки отличаются для различных типов летательных аппаратов из-за особенностей состава бортового радиоэлектронного оборудования, разме-

щения блоков аппаратуры, а также взаимного расположения антенно-фидерной системы ЛА и антенны НАП. В качестве потенциальных источников непреднамеренных помех НАП следует рассматривать сле-

дующие наземные средства: радиомаяки радиотехнической системы ближней навигации (азимутальный канал) и маяки дециметровой системы посадки (курсовой канал), аэродромные РЛС.

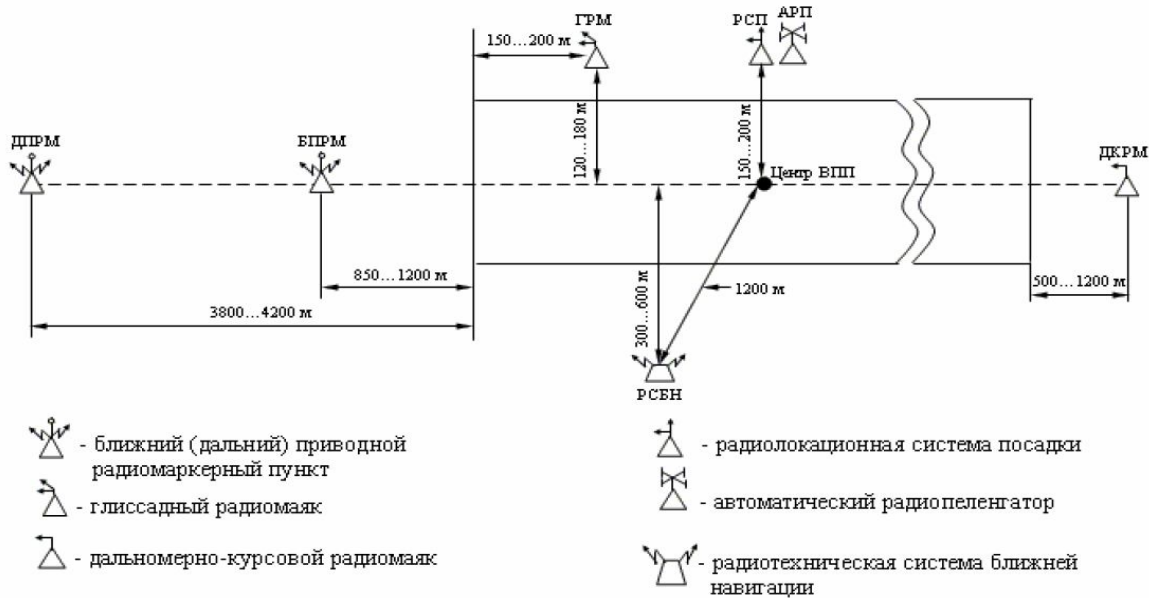


Рис. 3. Типовая схема размещения РЭС на аэродроме

Таблица 3

Обобщенные характеристики специальных РЭС, расположенных в районах аэропортов (аэродромов)

| Тип РЭС | Диапазон рабочих частот, МГц | Свойства направленности антенны | Мощность dBВт |
|------------------------------------|--|---------------------------------|---------------|
| Приводные РЭС: | | | |
| ПАР-8СС | 0,15...1,3 | средненаправленная | 22,3...26 |
| АПР-8 | 0,15...1,3 | | 22,3...26 |
| ПАР-9М | 0,15...1,352 | | 10...16 |
| ПАР-9М2 | 0,15...1,5 | | 17,8...26 |
| ПАР-10 | 0,15...1,75 | | 23...26 |
| Маркерные маяки: | | ориентирована вертикально вверх | |
| МРМ-48 | 75 | | 9,5...11,8 |
| Е-615.5 | | | 6,3...8,2 |
| УКВ-р/станц.: | | слабонаправленные | |
| Р-809М2 | 100...149,975 | | 3 |
| Р-863 | 100...149,975 220...399,975 | | 10 9 |
| Р-802 | 100...150 | | 115 |
| Инструментальная система посадки | | средненаправленные | |
| Курсовой радиомаяк | 905,1...932,4 | | 9 |
| Глиссадный радиомаяк | 939,6...966,9 | | 9 |
| Ретранслятор дальномера | 939,6...966,9 | | 26 |
| РЛ система посадки (РСП) | 859,9...883,7 | высоконаправленные | до 20 |
| Азимутально-дальномерный радиомаяк | 873,6...935,2; 939,6... 1000,5; 770...812,8 | высоконаправленные | до 20 |
| Автоматический радиопеленгатор | 100...149,975 220...399,975 | средненаправленные | |

2. Возможные методы уменьшения уязвимости системы навигационного обеспечения. Дублирование для позиционирования и определения точ-

ного времени необходимо для тех потребителей, для которых неприемлемо снижение заданных характеристик навигационного обеспечения

Резервные варианты включают комбинацию:

- наземная или космическая дублирующая система навигации и определения точного времени;
- бортовые комплексированные навигационные системы (инерциальные, магнитометрические, спутниковые и др.).

Система GPS не может служить единственным источником для определения местоположения или точности времени для некоторых критических применений. Использование резервных систем и процедур в применениях, где последствия потери навигационных сигналов недопустимы, будет гарантировать безопасность.

Обработка сигнала в аппаратуре потребителя.

Методы классифицируются как методы обработки входных сигналов (докорреляционные) и выходных сигналов (послекорреляционные) приемника.

Первые включают пространственную обработку, временную обработку и спектральную обработку.

Адаптивная пространственная обработка (формирование луча или регулирование нуля диаграммы направленности) использование антенных решеток может обеспечить от 25 до 40 децибел выигрыша.

Адаптивные временные методы обработки обеспечивают от 15 до 45 децибел выигрыша.

Адаптивные спектральные методы обработки обеспечивают 25 – 30 децибел выигрыша против разнообразных узкополосных источников помех.]

Вторые предусматривают комплексирование с дополнительными навигационными датчиками и специальные алгоритмы обработки.

Выводы

В системах аэронавигационного обеспечения, для которых потеря навигационных сигналов недопустима, должны быть разработаны и использоваться

системы и процедуры определения и контроля местонахождения источников непреднамеренных помех. В процессе проектирования систем аэронавигационного обеспечения необходимо решать задачу синтеза алгоритмов адаптивной комплексной обработки информации и принимать меры, направленные на уменьшение воздействия помех, оповещение пользователей о потенциальной опасности для решения задач навигации. Кроме того, персонал должен быть обучен выявлению признаков снижения качества или потери сигнала и переходу на дополнительную навигационную систему.

Список литературы

1. Бутенко В.В. Проблемы совместного функционирования радиоэлектронных систем наземного и космического базирования. – М.: СИП РИА, 2004. – 384 с.
2. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгофф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз; пер. с англ. третього вид. під ред. Я.С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1995. – 300 с.
3. Winer, B.M. Interference Source Location and Avoidance System // Proc. of the Institute of Navigation Fifty-Third Annual Meeting, Albuquerque, NM, June, 1997.
4. Michael Geyer, Robert Frazier, FAA GPS RFI Mitigation Program Proceedings of the ION GPS '99 14-17 September 1999, Nashville, TN.
5. Critical Item Development Specification for the Controlled Reception Pattern Antenna (CRPA) Line Replaceable Unit (LRU) of the NAVSTAR Global Positioning System Antenna System-1 (GAS-1), CIGASI/CRPA-300A, Appendix II to SS-ASI-300A, 24 Apr 1998.
6. Alison Brown, Dale Reynolds, Capt. Darren Roberts, Major Steve Serie jammer and interference location system – design and initial test results // Proc. of the ION GPS '99, Sept 99, Nashville, TN.

Поступила в редколлегию 21.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Центральный НИИ навигации и управления, Киев.

УРАЗЛИВІСТЬ СИСТЕМ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

І.О. Кашаєв, С.І. Смик, О.К. Шейгас

Розглядаються причини уразливості супутникових радіонавігаційних систем і, зокрема, систем аеронавігаційного забезпечення – як основи систем управління повітряним рухом. Визначені напрями досліджень по зниженню уразливості систем аеронавігаційного забезпечення. Проводиться аналіз можливих погроз функціонуванню комплексованих аеронавігаційних систем, визначається круг науково-технічних завдань, що вимагають рішення і обґрунтовується вибір напрямку досліджень по зниженню уразливості систем аеронавігаційного забезпечення.

Ключові слова: системи аеронавігаційні забезпечення, уразливість системи, управління повітряним рухом.

VULNERABILITY OF THE SYSTEMS OF THE AERONAVIGATION PROVIDING

I.A. Kashaev, S.I. Smyk, A.K. Sheygas

Reasons of vulnerability of the satellite radionavigation systems are examined and, in particular, systems of the aeronavigation providing – as bases of control the system by air motion. Directions of researches are certain on the decline of vulnerability of the systems of the aeronavigation providing. The analysis of possible threats is conducted to functioning of complexed of the aeronavigation systems, the circle of scientific and technical tasks, requiring a decision and the choice of direction of researches is grounded on the decline of vulnerability of the systems of the aeronavigation providing is determined.

Keywords: the systems the aeronavigation providing, vulnerability of the system, air traffic control.