

В. Е. КОСЕНКО, Д. И. МАРАРЕСКУЛ, В. И. ЕРМОЛЕНКО, В. И. ЛАВРОВ,
А. Н. АРАПОЧКИН, А. И. КОСЫНКИН, А. Б. СИМОНОВ

НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛОНАСС-ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются подходы к реализации системы обеспечения захода на посадку и посадки воздушных судов с использованием ГЛОНАСС-технологий. Исследована возможность повышения точности навигационного обеспечения за счет совмещения дифференциальной станции с дополнительным наземным источником ГЛОНАСС-подобного сигнала.

Ключевые слова: спутниковая радионавигационная система, навигационная аппаратура потребителей, дифференциальный режим, контрольно-корректирующая станция, псевдоспутник.

Введение. Анализ международных требований к навигационному обеспечению полетов гражданской авиации показал, что эксплуатируемые спутниковые радионавигационные системы ГЛОНАСС и GPS удовлетворяют требованиям по точности навигационного определения воздушных судов при полетах по маршруту и в аэродромных зонах [1]. Вместе с тем проведенные исследования показали, что в классическом варианте дифференциальной навигации [2], когда воздушное судно (ВС) использует радионавигационные сигналы от спутников и дифференциальные поправки от наземной контрольно-корректирующей станции (ККС), возможно обеспечить требуемый уровень точности навигационных определений лишь для захода на посадку по первой (грубой) категории, и только по плановым координатам. При этом остается нерешенным вопрос о выполнении требований ICAO (International Civil Aviation Organization) по целостности системы, т.е. вероятности оповещения воздушного судна о возможных сбоях в работе той или иной радионавигационной точки за время, не превышающее заданного.

Если ККС дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС совместить с наземным излучателем радионавигационного сигнала, аналогичного сигналам навигационных спутников, то за счет существенного улучшения геометрического фактора точность дифференциальных навигационных определений может быть доведена до требований второй и даже третьей

категории ICAO. Наряду с этим использование совмещенной дифференциальной станции, названной „псевдоспутник“ (ПС), позволяет:

- применять дифференциальные методы на ВС без использования дополнительных каналов связи между ПС и воздушными судами (поправки передаются в составе сигнала ПС);
- обеспечить выполнение требований ICAO по времени оповещения об отказах (контрольная корректирующая станция ПС производит мониторинг работоспособности всех радиовидимых навигационных спутников, и эта информация передается в составе навигационного сигнала ПС);
- передавать на ВС формализованные цифровые сообщения от диспетчерской службы в структуре цифрового кадра навигационного сигнала ПС;
- обеспечить возможность приведения ВС к взлетно-посадочной полосе (ВПП) по курсовому углу даже в случае невозможности использования на ВС радионавигационного поля спутников ГЛОНАСС и GPS;
- осуществлять точный заход на посадку на геодезически необеспеченные ВПП, в том числе ледовые и базирующиеся на плавсредствах.

Для выполнения требований ICAO разрабатываются наземные средства посадки, использующие измерения в миллиметровом диапазоне. Альтернативой таким системам могут стать системы посадки, построенные на основе навигационных спутниковых технологий с использованием дифференциальных режимов навигационного обеспечения и, в частности, с использованием псевдоспутников систем ГЛОНАСС и GPS.

Анализ точности и надежности навигационного обеспечения при использовании сигналов псевдоспутников. Анализ точностных характеристик определений по навигационной системе ГЛОНАСС с помощью ПС производился с использованием программно-математического моделирования. Результаты исследований показали, что вблизи ВПП (1—10 км) точность местоопределения в дифференциальном режиме в основном будет обусловлена точностью измерений первичных навигационных параметров (псевдодальность и псевдоскорость) в навигационной аппаратуре потребителя (НАП) и в ПС.

В таблице представлены значения точности навигационных определений для орбитальной структуры из 24 модернизированных спутников ГЛОНАСС-М при следующей величине погрешности:

- эфемерид навигационных спутников в орбитальной системе координат по трансверсали и бинормали — не более 5 м;
- эфемерид по высоте — не более 1 м;
- взаимной синхронизации навигационных сигналов спутников — не более 8 нс;
- измерений псевдодальностей в навигационных радиоканалах между ПС и ВС с учетом остаточных атмосферных задержек — не более 0,5—1,0 м.

Режим навигационных определений ГЛОНАСС-М	Точность местоопределения, м (с вероятностью $P=0,95$)		
	по широте	по высоте	по долготе
Стандартный	12	20	13
Дифференциальный	1,3	2,5	1,5
Дифференциальный и ПС	0,4	0,5	0,5

Данные, представленные в таблице, показывают, что погрешность навигационных определений в стандартном режиме (без дифференциальной коррекции) удовлетворяет требованиям маршрутного полета. При работе в обычном дифференциальном режиме без излучения дополнительного сигнала удовлетворяются требования захода на посадку по первой категории ICAO, а при работе в дифференциальном режиме с использованием измерений по псевдоспутнику удовлетворяются требования захода на посадку по второй и третьей категориям ICAO.

Использование измерений по сигналам псевдоспутника, расположенного в нижней полусфере ВС, улучшает геометрические свойства навигационного „созвездия“, что позволяет повысить точность определения координат, особенно высоты. На геометрические свойства „созвездия“ при такой схеме расположения основное влияние оказывает угол места от горизонта воздушного судна на псевдоспутник (β). На рис. 1 показана зависимость погрешности определений местоположения ВС (σ) в от угла β .

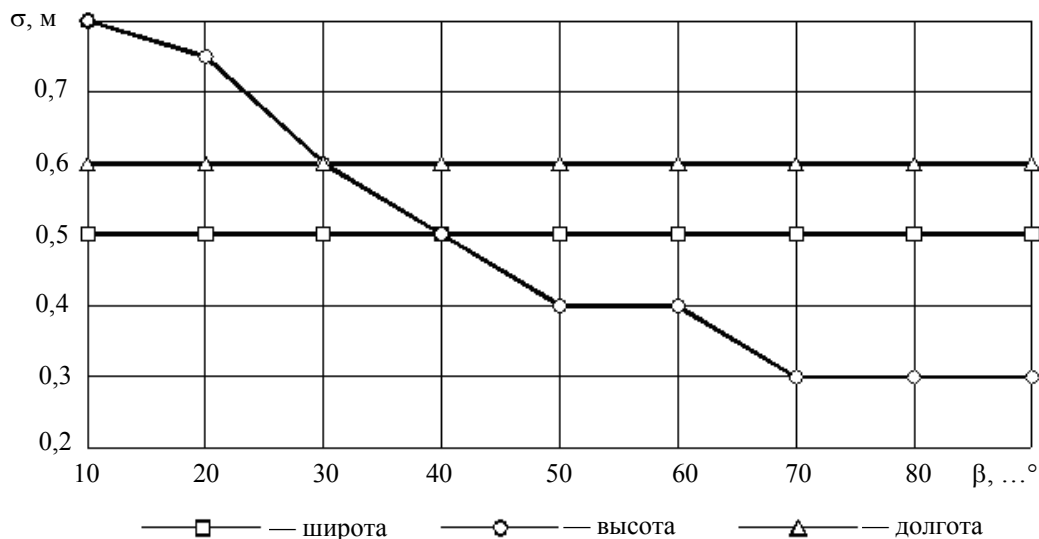


Рис. 1

Использование псевдоспутника также обеспечивает потребителю дополнительную высоконадежную опорную навигационную точку, что улучшает характеристику доступности навигационного обеспечения (вероятности работоспособности радионавигационного средства перед выполнением той или иной задачи и в его процессе).

Помимо точности и доступности навигационного обеспечения для ВС необходима высокая скорость доведения информации о целостности навигационной системы. Задача контроля целостности навигационного поля в зоне аэродрома может эффективно решаться за счет оперативного доведения этой информации до потребителя в навигационном кадре псевдоспутника наряду с дифференциальными поправками.

Схема построения псевдоспутника. В псевдоспутнике можно условно выделить две основные системы: контрольно-корректирующую аппаратуру (ККА) и излучатель навигационного сигнала (ИНС). Согласно требованиям электромагнитной совместимости НАП ККА и излучателя навигационного сигнала, необходимо пространственное разнесение антенн НАП и ИНС.

В зависимости от различных требований заказчиков спутниковых систем посадки (количество обслуживаемых ВПП, размер зоны обслуживания, уровень устойчивости и т.д.) возможны варианты построения ПС с одним или несколькими пространственно разнесенными излучателями навигационного сигнала. Использование нескольких ИНС позволяет: во-первых, обеспечить наилучшие условия навигации в различных районах аэродрома (например, на обоих концах ВПП или, в случае многополосного аэродрома, на разных ВПП); во-вторых, повысить надежность системы; в-третьих, обеспечить угловое наведение ВС относительно осевой линии ВПП даже при сбоях и внезапных отказах в радионавигационном поле ГЛОНАСС или GPS.

Схема построения псевдоспутника представлена на рис. 2. Она предусматривает единый опорный генератор, систему питания, блоки управления, эталонный навигационный приемник ИНС.

Взаимная синхронизация шкал ИНС и ведущей ККА с системной шкалой времени ГЛОНАСС осуществляется посредством совместной обработки на ККА дальномерных сигналов, поступающих от спутника ГЛОНАСС и контролируемого ИНС.

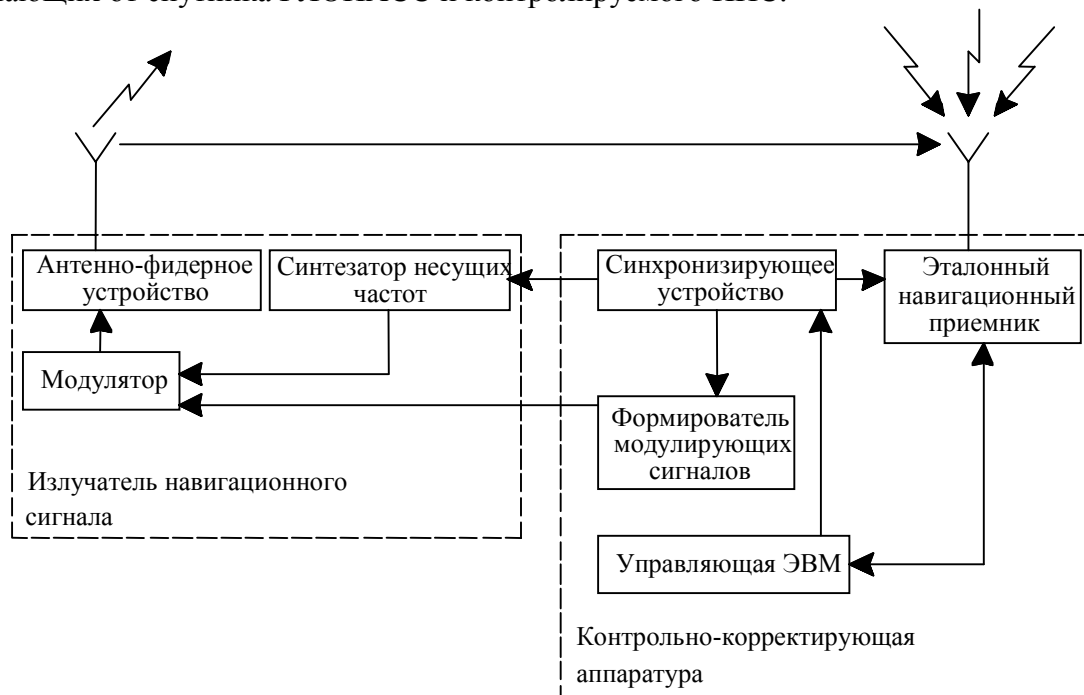


Рис. 2

Основные требования к псевдоспутнику. Тип излучения — сигнал ГЛОНАСС с СТ-кодом (стандартной точности) и специализированной цифровой информацией или GPS-подобный сигнал с С/А-кодом (Coarse/Acquisition — код грубого обнаружения).

Мощность излучения (1—10 мВт) должна обеспечивать уровень принимаемого сигнала не ниже, чем от навигационных спутников ГЛОНАСС, что реализуется при размере рабочей зоны псевдоспутника 20—30 км.

Диапазон излучаемых частот: в соответствии с частотным планом системе ГЛОНАСС выделена полоса $(1598,0625—1604,25) \pm 5$ МГц [3], в которой используется 12 литерных частот с разносом между литерами 0,5625 МГц, промодулированных сигналами с частотой 0,511 МГц для СТ-кода и 5,11 МГц — для сигнала ВТ-кода (высокой точности). При таком построении системы используются все литерные частоты. Излучение сигналов псевдоспутниками должно производиться в диапазоне, доступном для обработки стандартными навигационными приемниками ГЛОНАСС. Возможно расположение дополнительных литерных частот в защитных интервалах ± 5 МГц частотного диапазона, выделенного системе ГЛОНАСС.

В связи с тем что ширина спектра сигнала СТ-кода системы ГЛОНАСС на порядок меньше сигнала ВТ-кода и излучение псевдоспутника производится в направлении снизу вверх в локальной зоне и с малым уровнем мощности, то возможно без создания помех потребителям системы ГЛОНАСС и потребителям прочих систем использовать для излучения сигналов псевдоспутников до 16 литерных частот, размещенных в защитных интервалах диапазона системы ГЛОНАСС.

Основные требования к самолетной навигационной аппаратуре. Антенно-фидерное устройство должно обеспечивать возможность приема сигналов спутников систем ГЛОНАСС и GPS из верхней полусферы и сигналов псевдоспутников ГЛОНАСС из нижней полусферы и обеспечивать прием и измерение на дополнительных литерных частотах. Самолетная навигационная аппаратура должна:

- идентифицировать сигналы псевдоспутников и расшифровывать цифровую информацию навигационного кадра псевдоспутника;
- обеспечивать использование в алгоритмах решения навигационных задач дифференциальных поправок, поступающих в кадре псевдоспутника, информацию о целостности орбитального сегмента ГЛОНАСС и GPS;
- производить корректную обработку измерений псевдодальности по псевдоспутникам;
- принимать и расшифровывать специальные сообщения, поступающие по навигационному каналу псевдоспутника от диспетчерской службы аэродрома;
- обеспечивать индикацию положения воздушного судна относительно полосы, а также отклонение от расчетной или заложенной извне траектории движения;
- обеспечивать интерфейс с навигационно-пилотажным комплексом воздушного судна.

Заключение. Использование космических технологий навигационного обеспечения авиационного транспорта на ответственных участках полета, в частности, при заходе на посадку, требует применения дифференциальных методов спутниковой навигации. Однако классические методы дифференциальных навигационных определений не удовлетворяют высоким требованиям к точности местоопределения ВС по категориям ИКАО. Требуемая точность и надежность местоопределения может быть достигнута при совмещении дифференциальной станции с источником радионавигационного сигнала, аналогичного сигналам, излучаемым навигационными спутниками.

Наличие дополнительной радионавигационной опорной точки, расположенной в нижней полусфере ВС, позволяет повысить точность навигационных определений за счет дифференциальной коррекции, улучшить геометрические характеристики локального радионавигационного поля, что практически на порядок (по сравнению с обычной дифференциальной навигацией) позволяет повысить надежность и доступность навигационного обеспечения, а также обеспечить передачу на ВС информации о целостности системы практически в реальном масштабе времени.

За счет размещения псевдоспутников в непосредственной близости от взлетно-посадочной полосы не требуется высокоточная геодезическая привязка последней, что позволяет обеспечить точный заход на посадку на геодезически необеспеченные аэродромы.

Псевдоспутник представляет собой совокупность модулей и узлов, не требует трудоемких конструкторско-технологических разработок и испытаний, а основной объем требуемых работ заключается в создании программно-математического обеспечения псевдоспутника и навигационной аппаратуры воздушного судна.

Создание экспериментального образца и натурная отработка системы инструментальной посадки на базе псевдоспутника могут быть осуществлены уже в ближайшее время с использованием имеющихся в распоряжении ОАО „ИСС им. акад. М. Ф. Решетнева“ и НТП „Радиотехника“ аппаратных блоков силами этих организаций на летно-технической базе красноярских авиапредприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 268 с.
2. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцевич и др. М.: Радио и связь, 1993. 408 с.
3. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (редакция 5.0). М.: Координационный научно-исследовательский центр, 2002. 60 с.

Виктор Евгеньевич Косенко

Сведения об авторах

- канд. техн. наук; ОАО „Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнева“, Железногорск; первый заместитель генерального конструктора

-
- Дмитрий Иванович Марарескул** — ОАО „Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнева“, Железногорск; начальник сектора;
E-mail: dimar@nprorm.ru
- Владислав Иванович Ермоленко** — ОАО „Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнева“, Железногорск; главный специалист по РНСС
- Виктор Иванович Лавров** — ОАО „Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнева“, Железногорск; главный конструктор общего проектирования КА
- Александр Николаевич Арапочкин** — ОАО „Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнева“, Железногорск; главный специалист
- Александр Иванович Косынкин** — Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург; начальник отделения
- Андрей Борисович Симонов** — Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра космической радиолокации и радионавигации, Санкт-Петербург; преподаватель

Рекомендована кафедрой
космической радиолокации
и радионавигации

Поступила в редакцию
24.04.09 г.