

В.П. Полюга, А.А. Жалило

Высокоточная автоматизированная система летного контроля точностных характеристик и сертификации автоматических систем посадки воздушных судов и средств радиотехнического обеспечения (РТО) обслуживания воздушного движения (ОВД) на основе использования сигналов спутниковых радионавигационных систем GPS/GNSS

На основе анализа типов требуемых навигационных характеристик (RNP) воздушного пространства (ВП), оценки точности их выдерживания и ширины полосы контура наведения, определены основные тактико-технические требования к GPS/GNSS автоматизированной системе лётного контроля (АСЛК) и предложен оптимальный вариант её реализации. Рассмотрены концептуальные положения построения отечественной эталонной подсистемы траекторных измерений для контроля навигационных характеристик бортового и наземного сегментов систем радиотехнического обеспечения (РТО) обслуживания воздушного движения (ОВД) на всех фазах полета (включая и средства навигации по сигналам спутниковых систем GPS/EGNOS и GPS/GBAS) с использованием GPS/GNSS-технологий прецизионного определения местоположения.

Ключевые слова: радиотехническое обеспечение; глобальная навигационная спутниковая система GPS/GNSS (ГНСС); эталонная автоматизированная система летного контроля; дифференциальные подсистемы; аттестация, сертификация навигационных систем; точность; кодовые и фазовые GPS/GNSS-наблюдения.

ИКАО утвердила концепцию требуемых навигационных характеристик (RNP), как показатель точности навигационных характеристик в пределах определенного воздушного пространства (ВП), основанный на сочетании погрешностей [2]:

- наземного навигационного оборудования;
- бортового навигационного оборудования;
- обусловленных техникой пилотирования;
- обусловленных отображением данных.

Установленные RNP при этом определяют необходимый уровень бортового оборудования воздушного судна (ВС) и инфраструктуру ВП.

RNP представляет собой фундаментальный параметр, связанный с установлением безопасных норм эшелонирования. Риск столкновения ВС зависит от навигационных характеристик, критического времени для ВС и способности используемых в ВП систем вмешаться в управление для предотвращения столкновения или поддержания приемлемого уровня навигационных характеристик. При анализе риска столкновения ВС допустимый уровень риска принято называть целевым уровнем безопасности полетов [1].

Поддержание приемлемого уровня навигационных характеристик и целевого уровня безопасности полетов обеспечивается применением CNS/ATM технологии [2].

Установлено шесть типов RNP при полетах по маршрутам на основе точности выдерживания навигационных характеристик с вероятностью 0,95: RNP 1, RNP 4, RNP 5, RNP 10, RNP 12,6, RNP 20 [1]. RNP 1 ... RNP 5 наиболее эффективны при полетах по маршрутам континентального ВП при точности выдерживания навигационных характеристик – 1,85-9,2 км соответственно.

Этап посадки ВС является наиболее ответственным с точки зрения определения МП ВС и принятия решения на посадку или ухода на второй круг.

Для операций начального (промежуточного) этапа захода на посадку, неточного захода и вылета установлены RNP 0,5 и RNP 0,3, при точности измерения навигационных характеристик и интервале их удержания – +926/+1853 м и +556 /+1112 м соответственно.

Операции захода на посадку по приборам с наведением в вертикальной плоскости – RNP 0,3/125 требуют точности измерения плоскостной и вертикальной составляющей навигационного параметра +556/38 м и интервала их удержания +1112/76 м, а операции точного захода на посадку с использованием сигналов ILS, РСП по категориям I...III ИКАО:

- RNP 0,03/50 – ±56/15 м и ±167/46 м (по GAT в 100 м) ±37 /12 м и ±111 /46 м (по GAT в 60 м);
- RNP 0,3/0,5 – ±19/5 м и ±56/14 м (по GAT в 30 м);
- RNP 0,003 – ±6/– м и ±17/– м (по GAT < 30 м) включая требования по касанию.

Требования авиационных потребителей к точности измерения координат (СКП плоскостной / вертикальной составляющих) для операций точного захода на посадку по категориям ИКАО (и высоты над ИВП) определяются значениями:

- I (30,0 м) – 4,5...8,5 / 1,5...2,0 м;
- II (15,0 м) – 2,3...2,6 / 0,7...0,85 м;
- III (2,4 м) – 2,0 / 0,2...0,3 м.

Наземное оборудование ILS, РСП и бортовая навигационно-посадочная аппаратура (НПА) ВС,

имеют нормированные выходные параметры, подвергающиеся:

- ILS, РСП – автоматическому допусковому контролю постоянно и летному контролю посредством АСЛК периодически;

- НПА «Курс МП-70» ВС – метрологической проверке и аттестации.

Анализируя нормы ИКАО на параметры наземного оборудования ILS, РСП и НПА ВС [7] приходим к выводу, что погрешности задания выходного параметра ILS, РСП лежат в пределах $\pm 7,5 \dots 10 \%$ от номинального значения, а измерения на борту – в диапазоне $\pm 8,5 \dots 9,5 \%$ от задаваемого значения выходного параметра.

Погрешности задания выходного параметра и его измерения обуславливают продольную (АТК) и поперечную погрешности определения местоположения ВС вдоль линии пути, к которым добавляется погрешность техники пилотирования (FTE) и погрешность отображения [1].

Точность выдерживания навигационных характеристик или точность использования системы является обобщенным показателем, основанным на сочетании выше перечисленных погрешностей [1].

Существующие методики летной проверки средств РТО ОВД и их периодичность [6] позволяют определять, соответствуют ли ожидаемые характеристики выдерживания линии пути ВС эксплуатационным требованиям к таким характеристикам, но не дают оценки точности выдерживания RNP.

Для решения задач контроля тактико-технических характеристик систем РТО ОВД, оценки и мониторинга реальных характеристик бортового и наземного сегментов навигационных систем в мировой авиационной практике используют т.н. летные инспекционные системы (FIS).

Для получения эталонных параметров движения практически все зарубежные FIS используют те или иные разновидности дифференциального метода координатных определений с использованием наблюдений GPS/GNSS. При этом не исключается привлечение и средств инерциальной навигации.

Основными средствами получения эталонных параметров движения стали широко внедряемые в практику высокоточные DGPS-технологии определения координат ВС по фазовым наблюдениям с сантиметровой точностью [4].

Таким образом, концепция построения и функционирования предлагаемой к разработке высокоточной АСЛК должна базироваться на использовании комбинированной технологии, совмещающей преимущества дифференциальной DGPS, инерциальной (INS) и сетевой GPS/HP OmniSTAR технологий.

В соответствии с существующей методикой летной проверки средств РТО ОВД [6] на борту АСЛК размещаются следующие датчики навигационной информации:

- НПА «Курс МП-70» (или аналогичная с более высокими точностными характеристиками)

контроля выходных параметров ILS, РСП, МРМ и VOR;

- радиодальномер ВВД-94 контроля выходных параметров DME, DME/P и ТАКАН;

- самолетный радиолокационный ответчик СО-96 контроля выходных параметров ОРЛ-А, ОРЛ-Т, зарубежных ВРЛ УВД, режимов УВД, БАН, А, АС, «Контроль», «Знак», «Бедствие».

Сигналы с датчиков навигационной информации поступают в бортовое устройство сбора, обработки, индикации и документирования (БУСОИД). Электронный модуль адаптеров (ЭМА) формирует кадр в формате RS-232 и Ethernet. Два базовых электронных модуля (БЭМ) обеспечивают обработку кадра от ЭМА, вычисляют результаты измерений сигналов в реальном времени и выдают информацию на индикатор оператора, блок электронного осциллографа и печать. Результаты измерений подвергаются визуальному контролю и документированию на электронном и бумажном носителях.

БЭМ работает под управлением ОС Microsoft Windows 2000, что позволяет в кратчайшие сроки создавать ПО, совмещающее необходимую функциональность с максимально возможной простотой и наглядностью графического интерфейса.

Для получения эталонных параметров траектории АСЛК с целью калибровки и оценки технических характеристик средств РТО на базе реализации комбинированной технологии, требуется установка и использование:

- бортового сегмента оборудования – 24-х канального двухчастотного GPS-приемника DL-4+RT2Wi с поддержкой функционирования INS и двухчастотной авиационной антенны GPS-512C, а также инерциального навигационного блока IMU-G2-H58. С целью передачи на GPS-приемник DL-4+RTK–поправок, на борту устанавливается также УКВ радиостанция, выход приемника которой сопрягается с высокоскоростным входным интерфейсом RS-232 DL-4+;

- и наземного сегмента оборудования – 24-х канальной двухчастотной GPS-станции ProPak-G2+DB9-L1L2W с двухчастотной кинематической антенной GPS-702 с высокостабильным фазовым центром и технологией защиты от многолучевости.

GPS-станция комплектуется также УКВ радиостанцией передачи на борт АСЛК RTK–коррекций и устройством записи «сырых» данных наблюдений.

Приемник DL-4+ может работать в дифференциальном режиме (DGPS), поддерживает входные сообщения форматов RTCA и RTCM, имеет встроенную карту памяти для записи данных, обеспечивает выход данных о местоположении.

Обработка «сырых» GPS-данных осуществляется программным пакетом GrafNav/GrafNet, который предназначен для работы под операционной системой Windows.

Совместная обработка GPS-данных и данных инерциальной навигационной системы IMU-G2-H58

осуществляется ПО Inertial Explorer, составной частью которого является программный пакет GrafNav. Данное ПО позволяет:

- обрабатывать данные с очень высокой скоростью;

- осуществлять непрерывный контроль качества GPS-данных;

- определять МП, крен, тангаж, курс, скорость, высоту и направление движения ВС на основе обработки данных многопараметрическим фильтром Калмана.

GPS-станция ProPak-G2+ работает в режиме DGPS, поддерживает входные сообщения форматов RTCA и RTCM, обеспечивает выход данных о местоположении.

Следовательно, АСЛК должна обеспечивать точность определений (95%):

1. Координатных ВС

- в режиме реального времени при базовых расстояниях до 1000 км и использовании оборудования и технологий типа **HP OmniSTAR BV – 15...30 см**;

- в режиме послесеансной обработки при использовании базовой GPS/GNSS-станции на удалении до 50 км (плановая/ вертикальная составляющая) – **2...10 / 5...25 см**;

2. Составляющих вектора скорости ВС ≤ **(5...10) см/с**;

3. Параметров угловой ориентации в зависимости от решаемой задачи – **0,1...0,01 град.**;

4. Временной привязки результатов определений к шкале GPS – ≤ **1 мкс**, а к шкалам UTC и UTC UA – ≤ **1мс**;

5. Темп получения результатов траекторных измерений в зависимости от решаемой задачи – в пределах **1...100 Гц**.

Важным аспектом является применение технологий оценки точности с использованием фазовых наблюдений наземных двухчастотных референсных станций и научного программного обеспечения обработки данных типа BERNESE.

Таким образом, реализация комбинированной технологии на АСЛК позволит обеспечить:

- ♦ дециметровую и субдециметровую точность в РМВ и в режиме послесеансной обработки наблюдений на всей территории и в ВП Украины с использованием технологии OmniSTAR HP и современных сетевых технологий послесеансной обработки с привлечением наблюдений перманентных GPS-станций Украины;

- ♦ максимальную надежность навигационных определений за счет совместной обработки бортовых и наземных GPS/GNSS-наблюдений и наблюдений бортовой инерциальной системы;

- ♦ решение задач корректного пересчета текущих параметров движения ВС по наблюдениям эталонной АСЛК и аттестуемых бортовых навигационных систем в единую систему отсчета с целью их сравнения и оценки точности;

- ♦ осуществление надежного контроля качества того или иного способа определений

параметров движения ВС за счет возможности применения одновременно нескольких технологий и сравнения их результатов, применения кодово-фазовых и фазовых решений, сравнения определений в режиме РМВ и в режиме послесеансной обработки.

Для реализации режима постобработки потребуется программное обеспечение собственной разработки и набор апробированных покупных программных средств. Предложенный принцип построения АСЛК позволит обеспечить решение всех задач эталонных траекторных измерений и обеспечить оценку точности использования системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). Doc 9613-AN / 937, ИКАО, 1994. – 48 с.

2. Национальный план для систем CNS/ATM. Инструктивный материал. Циркуляр 278-AN/164. ИКАО, Монреаль, Канада, 2000.–174 с.

3. Navigation strategy for ECAC. EUROKONTROL, 1999. – 64 с.

4. В.П. Харченко, А.А. Жалило, В.В. Конин, В.М. Кондратюк - Зарубежный опыт создания и применения систем FIS (Fight Inspection Systems) для контроля характеристик и сертификации авионики и аэронавигационного обеспечения воздушных судов с использованием DGPS (DGNSS) подсистем// Аерокосмічні системи моніторингу та керування, Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, НАУ, 26-28 квітня 2004 р. Том 2, с. 21.1 – 21.9.

5. ВСН 7-86 / МГА. Нормы проектирования объектов УВД, радионавигации и посадки. М.: МГА, 1987. – 96 с.

6. Правила організації і проведення наземних та льотних перевірок наземних засобів радіотехнічного забезпечення польотів, авіаційного електрозв'язку та світлосигнального обладнання аеродромів цивільної авіації України. К.: Державіаслужба, 2005. – 220 с.

7. Сосновский А.А., Хаймович И.А. Авиационная радионавигация. Справочник. – М.: Транспорт, 1980. – 255 с.

8. ДСТУ 2819–94. Радиотехническое обеспечение обслуживания воздушного движения. Термины и определения. К.: Госстандарт Украины, 1994. – 44 с.

9. ДСТУ 3516–97. Характеристики автоматических систем посадки воздушных кораблей точностные. Термины и определения. К.: Госстандарт Украины, 1997. – 44 с.

10. ДСТУ 2598–94. Системы посадки воздушных кораблей радиотехнические. Термины и определения. К.: Госстандарт Украины, 1994. – 38 с.