

УДК 621.396.98

Е.Т.СКОРИК¹⁾, д.т.н., проф., В.М. КОНДРАТЮК¹⁾, В.В. КОНИН²⁾, д.т.н.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДВИЖЕНИЕМ САМОЛЕТОВ И ДРУГИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ АЭРОДРОМОВ

¹⁾ООО НПП«ГРАНАС», Украина; email: granas@ukr.net

²⁾Национальный авиационный университет, Киев, Украина; email: cnsatm@nau.edu.ua

Рассмотрены варианты создания систем наблюдения за движением по полю аэродромов с интенсивным графиком полетов и обслуживания воздушных судов. Основное внимание уделяется применению активных РЛС класса ASDE миллиметрового диапазона волн и пассивных систем типа AVL/GPS

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение интенсивности воздушного движения при одновременном непрерывном повышении требований к безопасности использования воздушных судов, в том числе большой пассажироместимости (аэробусов), уже давно поставило на повестку дня проблему предотвращения столкновений самолетов и других транспортных средств непосредственно на земле в рабочей зоне аэропорта, включая взлетно-посадочную полосу (ВПП). Произошедшие несколько резонансных случаев столкновений самолетов в некоторых аэропортах с тяжелыми последствиями заставило ИКАО разработать ряд рекомендаций по обязательному использованию в крупных аэропортах специальных технических мер по повышению безопасности движения в рабочей зоне поверхности аэропортов самолетов, бензозаправщиков, автокаров, автобусов, автомобилей технического обслуживания и других подвижных объектов. Речь идет о программе ICAO SMGCS – Surface Movements Guidance and Control System (Система сопровождения и управления движением по поверхности аэродрома). Применение рекомендованных мер во многом уменьшает и может даже исключить влияние человеческого фактора работников диспетчерских служб при решении этой задачи. Технические средства по предотвращению факторов столкновения подвижных объектов в рабочих зонах поверхности аэропортов делятся на два больших класса:

-активные средства, к которым относятся радиолокационные станции (РЛС) обзора летного поля по обнаружению некооперированных (автономных) и кооперируемых объектов с использованием активного ответа транспондеров (маяков – ответчиков) на их борту (вариант системы активной SMGCS);

-пассивные средства, к которым относятся системы автономного местоопределения подвижных объектов, оборудованных приемниками радионавигационных полей глобальной спутниковой системы GPS, с трансляцией в центр выработанных данных наблюдений местоопределения объектов. Общее название таких систем AVL- (Automatic Vehicle Location) – “Автоматическое местоопределение подвижного объекта”.

В некоторых обоснованных случаях может быть также рекомендован комбинированный активно - пассивный режим наблюдения (вариант системы А-SMGCS), так как не все подвижные объекты, появляющиеся на поле аэродрома, гарантировано могут считаться оборудованными приемными системами GPS и радиоканалами связи с центром наблюдений и поэтому могут выпасть из массива наблюдения при использовании только чисто пассивного метода [1].

1. РЛС ОБЗОРА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛЯ АЭРОПОРТОВ

Специализированные РЛС этого типа имеют международное обозначение ASDE - Airport Surface Detection Equipment (Оборудование для обнаружения объектов на поле аэродрома) и специально предназначены только для наблюдения за перемещением самолетов по взлетно-посадочной полосе (ВПП), автомобилей и других подвижных средств, а также отдельных лиц по поверхности поля аэропорта, в том числе и вне ВПП [2]. По сути, ASDE представляют собой РЛС радиовидения объектов на фоне картографического изображения всей структуры поля аэродрома. Поэтому, при разработке такого оборудования обеспечивается, в первую очередь, основная целевая функция - получение высокого разрешения объектов, в том числе в плохих метеоусловиях без оптической видимости.

Для получения квазиоптического наблюдения в ASDE рекомендуется применение диапазона миллиметровых волн (ММВ). Исторически использование ММВ в ASDE явилось первым примером применения этого диапазона в гражданских РЛС. Уже в 1954 г. фирма Децца (Великобритания) установила РЛС ASDE диапазона $\lambda_1 = 8$ мм в Лондонском аэропорту Хитроу. Позднее в США была разработана серия РЛС ASDE, первая из которых была установлена в аэропорту им. Дж.Кеннеди. В связи с особыми достаточно высокими техническими требованиями к РЛС ASDE, которые элементная база ММВ тех лет не могла обеспечить, в этой серии США была использована рабочая частота 24 ГГц (длина волны $\lambda_2 = 1,25$ см). В последние годы успехи в разработке элементной базы ММВ позволили вернуться к использованию для РЛС ASDE диапазона $\lambda_1 = 8$ мм (Децца с 1970 г.). Основные параметры этой РЛС ASDE приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1. Основные ТТТ РЛС ASDE фирмы Децца

Дальность действия, м	Высота обзора от поверхности земли, м	Разрешение по дальности, м
150 - 4500	не более 30-60	3 - 10

Разрешение по азимуту желательно иметь примерно одного порядка с разрешением по дальности с тем, чтобы иметь одинаковую ячейку разрешения по обеим координатам на выбранной средней дистанции 2000 – 2500 м. Для получения четкого изображения границ ВПП (картографирование взлетного поля) ячейку разрешения задают порядка 3,7 x 3,7 м.

Эти и другие требования должны совмещаться с требованиями работы в различных погодных условиях, включающих уровни дождя до 8 ...16 мм/ч. Если обеспечение разрешения по дальности не является технической проблемой, то, соответственно, по азимуту является достаточно сложным, поскольку, в соответствии с формулой (1) угловое разрешение полностью определяется горизонтальным размером L антенны и рабочей длиной волны λ :

$$\theta = k \cdot \lambda / L \text{ (радиан)}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, несколько больше 1, зависящий от вида распределения облучения по

зеркалу и крутизны спадающего облучения к его краю.

Горизонтальный размер антенны обычно не превышает $L = 5...7$ м и ограничен чисто механическими условиями эксплуатации антенны при скорости вращения антенного поста до 60...150 об/мин, что вытекает из требования обновления данных РЛС не менее 1раз/с. Фирма Децца реализовала в одном экземпляре РЛС ASDE скорость даже 750 об/мин для декорреляции отраженных сигналов от обзора к обзору. Для получения достаточной видимости объектов на фоне земли и декорреляции когерентных зеркальных выбросов на радиоизображении из-за сложной диаграммы перетражений от протяженных целей в РЛС ASDE применяют перестройку частоты от импульса к импульсу. Поэтому антенна должна быть чисто оптического типа (зеркало с центральным облучателем) без смещения оси луча при изменении частоты, как это наблюдается в волноводно-щелевых антеннах (антенна типа “палка”). В вертикальной плоскости реализуется обычно форма диаграммы направленности (ДН) типа cosec^2 . В РЛС ASDE разработки фирмы Cardion (США) в антенне применено эллиптическое зеркало с переменной по дальности фокусировкой при наклонном облучении поля с башни аэропорта высотой до 90 м.

Ниже приведены некоторые критические параметры технических средств, с помощью которых достигалась реализация основных требований в РЛС ASDE фирм Децца и Cardion:

- передатчик – на базе магнетрона с импульсной мощностью 12 кВт, длительностью импульса 30 нс, частотой следования импульсов до 20 кГц;
- антенна с шириной ДН по азимуту $0,38^\circ$, по углу места от 0° до 14° типа cosec^2 , поляризация излучения - линейная и круговая.

Эти параметры передатчика и антенны позволяют получать не менее 10-13 импульсов на ширину луча, что обеспечивает до 40 импульсов облучения по большим самолетам типа В-707 или DC-8. Формирование видеосигналов для получения изображения телевизионного типа производится при использовании цифрового преобразования развертки.

В ASDE для работы в дожде и по дистанции применяется очень эффективная обработка сигналов, так называемая “портретная обработка”. Для ее реализации на дальнем краю летного поля аэропорта устанавливаются калиброванные уголкового отражатели, по уровню отражения от которых регулируется усиление приемника РЛС с помощью специальной схемы временной по дистанции автоматической регулировки усиле-

ния (ВАРУ). Эти меры совместно с круговой поляризацией, перестройкой частоты от импульса к импульсу и другими гарантируют высокое качество изображения во всех погодных условиях применения ASDE.

Новейшая РЛС диапазона ММВ типа ASDE разработана отделением шведской фирмы Oerlicon Contraves в Италии и установлена в аэропорту г. Франкфурта на Майне (ФРГ) международным консорциумом Thales. Ближайший прототип этой РЛС планируется к установке в аэропорту г. Вены (Австрия). Эти РЛС соответствуют требованиям ICAO по программе SMGCS – Surface Movements Guidance and Control System (Сис-

тема сопровождения и управления движением по поверхности). Назначение аппаратуры SMGCS состоит в гарантировании и содействии в соблюдении дисциплинированного движения объектов по полю аэропорта с целью предотвращения столкновений. Главное отличие между программами ICAO ATC/ATM и SMGCS состоит в том, что последняя гарантирует пилоту и диспетчеру визуальную оценку ситуации для оперативного решения проблем при перемещениях объектов по полю аэропорта. В таблице 2 [1] показан перечень требований по этой программе и по ее модификации А-SMGCS (т.е. Automatic SMGCS):

Таблица 2. Требования программ ICAO SMGCS и А-SMGCS

Функции	SMGCS	А-SMGCS
Наблюдение	Визуальное в условиях полной видимости	Местоопределение и идентификация подвижных объектов и препятствий при объединении датчиков и данных
Управление	Ручное / полуавтоматическое с помощью взаимодействия с контроллером	Автоматическое с мониторингом, анализом конфликтов и их разрешений (в основном относительно вторжений на ВПП)
Сопровождение	С помощью наземных фиксированных визуальных ориентиров	Автоматическое, с улучшением визуализации обстановки с помощью дополнительных обозначений и с отображением на дисплее пилота через линию передачи данных
Планирование маршрутов	Ручное с помощью контроллера	Автоматическое, с оптимальным назначением заданий при определении времени прилета и вылета самолета и расписания обслуживающего городского транспорта

Структура А-SMGCS позволяет обнаруживать и определять местоположение кооперируемых и некооперируемых объектов с возможностью идентификации и классификации объектов при помощи гетерогенных данных таких датчиков, как единичные РЛС, сети мини РЛС диапазона ММВ (для заполнения зазоров в зоне обзора при затенениях обзора строениями и крупными самолетами), а также датчиков зависящего наблюдения, таких как радиолокационные ответчики-транспондеры в режиме S-моды и опорные станции дифференциальной спутниковой навигации D-GPS.

Критические параметры аппаратуры мини - РЛС диапазона ММВ:

- передатчик на электровакуумном приборе (ЭВП) в диапазоне W (частота $f = 95$ ГГц), мощностью 1 кВт в импульсе длительностью 20 нс, частотой повторения 4096 Гц, синхронизированной с вращением антенны по азимуту;

- ширина ДН антенны по азимуту $0,2^0$, скорость вращения 60 об /мин;

- обработка сигналов при частоте выборок $60 \cdot 10^6$ выб/с с синхронизацией по дальности.

В бывшем СССР отдельные экземпляры РЛС типа ASDE выпускались в г. Челябинске.

В настоящее время в СНГ установлена и эксплуатируется, по крайней мере, одна известная нам РЛС диапазона ММВ типа ASDE в аэропорту Минск-2. Для сравнения ниже приведены ее основные параметры:

- рабочий диапазон волн $\lambda = 8$ мм;
- мощность передатчика 40 кВт при длительности импульса 80 нс и частоте повторения 8 кГц;
- скорость вращения антенны в обтекателе $180^0/с$;
- дальность обнаружения в дожде 8 мм/ч объектов с эквивалентной отражающей поверхностью $1 м^2 - 4$ км.

Несмотря на рекомендации ICAO по широкому применению РЛС типа ASDE во всех аэропортах с интенсивным движением, количество

аэропортов, в которых установлены РЛС этого класса, явно недостаточное. Поэтому производство систем SMGCS с использованием мини - РЛС диапазона ММВ и СРНС GPS в 21 веке является достаточно обоснованным и перспективным.

2. ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ (СИСТЕМЫ AVL) В ЗОНЕ АЭРОПОРТА

Широко используемый для этих задач англоязычный термин AVL - Automatic Vehicle Location (автоматическое местоопределение транспортных средств) обобщает современные телематические диспетчерские системы, оснащенные средствами местоопределения подвижных объектов и оперативной радиосвязи с ними. Для реализации этого режима в составе транспортного средства для автоматического контроля и регистрации параметров движения автотранспортного подвижного объекта наиболее часто используется приемник спутниковой радионавигационной системы (СРНС) GPS и местная мобильная сотовая система радиосвязи GMS в варианте стандарта GPRS. По нормам ЕС в транспортной единице системы AVL должен также находиться специальный электронный цифровой узел (прибор) так называемый «тахограф»- регистратор движения типа «черного ящика» [3].

Применение общей системы класса AVL на аэродроме для задач программы SMGCS ICAO наталкивается на проблемы, связанные с необходимостью иметь активную двустороннюю радиосвязь с транспортными средствами в зоне оперативной служебной радиосвязи диспетчерских служб аэропорта с воздушными судами. Как известно, помехи от систем мобильной радиосвязи для аэропортов, расположенных вблизи крупных городов, являются достаточно большой проблемой для их диспетчерских служб. Частично острота этой проблемы смягчается при использовании для этих целей служебных каналов связи, разрешенных в зоне аэропорта (например, типа пакетной радиосвязи). Тем не менее, интенсивный обмен потоками цифровых данных по радиоканалам с подвижными объектами в критической зоне аэропорта, особенно в случае использования дифференциальных режимов СРНС – прямого или обратного, требует не только специального проектирования этой дополнительной системы массового облуживания, но и тщательного исследования режима помехоустойчивости и электромагнитной совместимости (ЭМС).

Поэтому более перспективными для этих задач могут оказаться исследование других методов, пассивных, не связанных с излучением интенсивных радиосигналов и не радиолокационных. Одна из таких возможностей показана ниже.

3. МЕТОД РЕТРАНСЛЯЦИИ ВЫБОРКИ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ПОЛЯ СРНС С ТОЧКИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Метод был предложен фирмой SIFR и состоит в ретрансляции выборки радионавигационного поля низкого энергетического уровня сигналов СРНС, принятой на борту подвижного объекта, на базовую станцию без необходимости определения собственных координат объекта на его текущей позиции. Метод подобен применению ретранслятора – транспондера в активных РЛС при зависимом наблюдении воздушных судов. Как можно показать математически [4], при ретрансляции выборки радионавигационного поля GPS с точки текущего местоположения подвижного объекта и стандартной обработки навигационных сигналов в точке их приема, на базовой аэродромной контрольно-корректирующей станции (ККС) отображаются собственные координаты этого объекта. Физически это может быть объяснено таким образом, что сигналы всех видимых в зоне аэропорта навигационных космических аппаратов (НКА) при трансляции с борта транспортного объекта на ККС получают одно и тоже приращение к данным их псевдодальности и поэтому это дополнительное приращение расстояния не влияет на определение местоположения объекта по стандартной процедуре.

Принятый весь массив данных со всех подвижных объектов в зоне действия базовой станции обрабатывается по жесткой программе высокопроизводительным вычислительным комплексом с учетом дифференциальных коррекций относительно базовой станции и результаты отображаются в виде точных координат всех подлежащих наблюдению подвижных объектов, имеющих ретрансляторы СРНС. Для ретрансляции «сырых» данных с объекта на ККС используется специальный радиоканал, причем рекомендуется использование режима сотовой связи 3-го поколения CDMA с кодовым разделением сигналов, полностью совместимый с кодовым разделением сигналов GPS НКА. Для развязки прямых сигналов, принятых непосредственно от НКА в зоне размещения базовой станции и сигналов НКА, ретранслируемых с объектов, используется обычный метод переноса частоты в разрешенный на аэродроме радиодиапазон, с помощью техники передающего смесителя. Подобный метод был успешно применен в Финляндии при слежении за полетом метеозондов при регистрации скорости перемещения воздушных масс в зонах полета рейсовых самолетов в районе аэропортов [5].

Проверка метода ретрансляции сигналов СРНС с борта подвижного объекта для определения его координат на базовой станции в настоящее время отрабатывается на НПП «Гранас».

Заключение

Показана актуальность применения систем наблюдения за движением самолетов и других подвижных объектов по поверхности аэродромов с интенсивным графиком полетов и обслуживания воздушных судов. Рекомендуются из активных методов применение РЛС миллиметрового диапазона, а из пассивных – использование навигационных полей спутниковых радионавигационных систем СРНС.

Литература

1. **Ferri V., Galati G.** Use of high Resolution Radar in A-SMGCS Sensor Fusion: Fast Prototyping Project and its Follow-on. International Symposium ATM-2002, Capri (Italy), Proc. of the Symp., Sept. 2002.
2. **Schwab C., Rost D.** Airport Surface Detection Equipment, Proc. IEEE, vol. 73, Feb. 1985, pp. 290-300.

3. **Скорик Е.** Сучасна апаратура супутникових систем навігації для споживачів систем класу "AVL/логістика/телематика", Застосування супутникових технологій у транспортній галузі, Збірник наукових праць, спеціальний випуск, Національний транспортний університет, Київ 2002.

4. **Конин В. В., Харченко В. П.** Проблемы помехоустойчивости спутниковых систем. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції. Міністерство освіти і науки України, Національний авіаційний університет. Київ, 2003, С. 21.120 - 21.128.

5. **Ятинен Дж., Саарнимо Т.** Надежное определение параметров ветра после прекращения эксплуатации системы ОМЕГА, «Навигация -97» Сборник трудов Второй Международной конференции «Планирование глобальной радионавигации», 24-26 июня 1997, М. Россия, Т.1 I, с.390-401.

E.T.SKORIK¹⁾,d.t.s.,prof., V.M. KONDRATYUK¹⁾, V.V. KONIN²⁾,d.t.s.

ESTIMATION OF CAPABILITY TO CREATION OF OBSERVATION SYSTEMS FOR MOTION ON A FIELD OF AERODROMES OF FLIGHTS AND OTHER MOBILE OBJECTS

¹⁾“GRANAAS” Ltd., Ukraine; email: granas@ukr.net

²⁾ National air university, Kiev, Ukraine; email: cnsatm@nau.edu.ua

The variants of creation of observation systems for motion on a field of aerodromes with the intensive schedule of flights and service of aircrafts are reviewed. The main attention is given to application of an active radar stations of the class ASDE with a millimeter-wave range and passive systems such as AVL/GPS.