Наука и Образование
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сетевое научное издание
ISSN 1994-0408

Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 11. С. 301–324.

DOI: **10.7463/1115.0825935**

Представлена в редакцию: 12.10.2015
Исправлена: 27.10.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 621.396, 681.78

Пути создания радиооптического комплекса контроля воздушного и наземного пространства для диспетчерских служб региональных аэропортов

Скосырев В. Н.[1], Кочкин В. А.[1], Шумов А. В.[1,*], Ананенков А. Е.[1], Слукин Г. П.[1], Нефедов С. И.[2], Федоров И. Б.[1]

*shum_ov@mail.ru

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[2]Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. ак. А.И Берга, Москва, Россия

Анализ мировых тенденций развития и технических характеристик перспективных средств наблюдения позволил обосновать облик и предложить технические решения для нового отечественного радиолокационно-оптического комплекса, предназначенного для выполнения функций системы наблюдения для организации воздушного движения в региональных аэродромах и учитывающего специфику эксплуатации таких средств в климатических условиях Российской Федерации. Учитывая недостатки активно продвигаемых иностранными производителями для аналогичных целей оптико-электронных информационных систем, а также опираясь на новые технологии радиолокации, спроектирован новый высокоинформативный радиолокационно-оптический комплекс, обеспечивающий решение задач, стоящих перед всепогодным информационным датчиком системы наблюдения при организации воздушного движения в региональных аэродромах.

Ключевые слова: аэронавигация, диспетчерская служба, оптико-электронные системы, РЛС, сверхширокополосные сигналы

Введение

В настоящее время в мире идет активный поиск будущего облика комплексов аппаратуры для информационного обеспечения диспетчерских служб региональных аэропортов и аэродромов малой авиации [1]. Обусловлено это общей тенденцией интенсификации движения воздушного транспорта и особенно малой авиации, а также экономическими причинами по снижению стоимости информационно-диспетчерской системы региональных аэропортов по сравнению с крупными аэропортами. Планы ИКАО

по развитию мировой (глобальной) аэронавигационной системы наивысшим приоритетом считают разработку и внедрение «навигации, основанной на характеристиках» (Performance Based Navigation - PBN), что предполагает с одной стороны возможность более гибкого задания маршрута полета, а с другой - обеспечение значительно более точного следования по запланированной траектории. При этом в качестве основного информационного технического средства, обеспечивающего PBN, рассматриваются глобальные навигационные спутниковые системы. Повсеместное использование PBN планируется обеспечить за счет принципиальной перестройки всей сети информационных средств, обеспечивающих выполнение функций навигации и наблюдения к 2020 г. [1, 2]. С внедрением PBN нормой станет проведение полетов воздушных судов (ВС) на основе зональной навигации и переход от выполнения полетов по принципу «на/от антенны навигационного средства» к полётам по координатам (будут использоваться 2D, 3D и 4D траектории полета).

При внедрении PBN область использования первичных обзорных радиолокационных средств будет значительно сокращаться путем их замены средствами совместного (кооперативного) наблюдения.

ИКАО планируются следующие технические средства для построения перспективных систем наблюдения [2, 3], которые обеспечат своевременное предоставление информации о местоположении ВС и других объектов соответствующим потребителям – службам организации воздушного движения и авиационным пользователям в аэродромной зоне:

– для диспетчерского обслуживания подхода ВС – первичные и вторичные радиолокационные средства, широкозонные системы мультилатерации (Wide Area Multilateration System –WAM) и кооперативного зависимого наблюдения (Automatic dependent surveillance-broadcast - ADS-B);

- для наблюдения за ВС при заходе на посадку на близкорасположенные параллельные взлетно-посадочные полосы (ВПП) – радиолокаторы с электронным сканированием;

– для аэродромного диспетчерского обслуживания – первичные радиолокаторы, средства мультилатерации MLAT и ADS-B, а также дополнительные системы наблюдения (радиолокаторы миллиметрового диапазона, видеосистемы и др.).

Поскольку приоритет отдается системам кооперативного наблюдения, все объекты, находящиеся на аэродроме, должны быть оборудованы средствами передачи в систему организации наземного движения на аэродроме (Advanced Surface Movement Guidance and Control System - A-SMGCS) идентификационных данных и данных о своем местоположении. Обнаружение некооперированных целей (не оснащенных соответствующими бортовыми системами) планируется обеспечить радиолокационными станциями обзора летного поля (РЛС ОЛП) миллиметрового диапазона и оптико-электронными системами (ОЭС) видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов.

Использование системы наблюдения для наведения воздушного судна на ВПП на конечном этапе захода на посадку при неблагоприятных погодных условиях планируется обеспечить средствами спутниковой навигации и вторичной радиолокации.

Развитие средств аэронавигации на территории Российской Федерации хоть и заметно отстает от общемировых тенденций, однако необходимость их развития и интеграции с глобальной системой аэронавигации требует предложения и реализации технических решений, которые в перспективе смогут обеспечить сопряжение этих систем.

Для крупных аэропортов совокупность планируемых решений по информационному обеспечению диспетчерских систем на сегодняшний день технически является в целом достаточной [5]. Используемые и разрабатываемые системы частично дублируют друг друга, обеспечивая достаточный уровень безопасности воздушного движения при работе аэропорта в штатном режиме. Существенно иное положение в российском сегменте региональной и малой авиации. Его особенностями являются значительно меньшая, чем в Европе и США плотность аэродромной сети, большое количество региональных и малых аэродромов и неразвитая инфраструктура.

В России более 65% аэродромов осуществляют в среднем менее одного взлета-посадки в сутки, при этом в таких аэропортах огромные средства затрачиваются на диспетчерские и инженерные службы и соответствующую избыточную инфраструктуру. Перспективным решением здесь должен явиться переход от диспетчерского к полетно-информационному обслуживанию, основывающемся на использовании концепции так называемых «Удаленных вышек» [4], оснащенных автоматизированными многофункциональными системы наблюдения и контроля за ВС и наземным движением и обеспечивающих управление воздушным движением в зоне аэропорта удаленной диспетчерской службой.

В настоящее время идет активный поиск будущего облика комплексов аппаратуры для информационного обеспечения региональных аэропортов и аэродромов малой авиации [6-8]. Наиболее универсальными и всепогодными информационными датчиками для них являются радиолокаторы различного назначения. В крупных аэропортах в качестве основных информационных датчиков [9, 10] применяются радиолокаторы нескольких типов. Это, в первую очередь, РЛС ОЛП, РЛС контроля воздушного пространства в зоне аэропорта (ОРЛ-А) и РЛС контроля посадки (ПРЛ). Для обеспечения контроля воздушного движения в зоне аэропорта и проведения посадки ВС требуется точное определение трёх координат ВС: азимута, угла места и дальности. Получение данной информации в настоящее время обеспечивается использованием сложных трёхкоординатных РЛС. Например, используемые в настоящее время РЛС контроля посадки создаются на основе сложных антенных систем ФАР (АФАР). Для региональных аэродромов, в которых интенсивность воздушного движения невелика, применение информационной системы на основе РЛС ОЛП, ОРЛ−А и ПРЛ неоправданно дорого.

Опираясь на то, что большинство ВС оснащено современным навигационным оборудованием, включающим средства глобального позиционирования, ряд зарубежных фирм предлагает на региональных аэродромах применять в качестве информационных датчиков только оптико-электронные системы наблюдения (ОЭСН) [4]. На такую систему

возлагаются функции контроля и управление взлетом и посадкой самолетов, контроля движения по взлётно-посадочным полосам (ВПП) и рулёжным дорожкам (РД), а также контроля обстановки на летном поле аэропорта. В настоящее время направление ОЭСН активно развивается такими ведущими мировыми производителями аэронавигационных систем, как SAAB (Швеция), Frequentis AG (Австрия), Searige (Канада).

В качестве примера реализации перспективной оптико-электронной системы рассмотрим систему SmartVision фирмы Frequentis [4].

Система SmartVision состоит из оптико-электронных датчиков видимого и ИК-диапазонов, скомплексированных с лазерным дальномером. В состав средств наблюдения системы входят обзорная сканирующая ИК-система дальнего ИК-диапазона (основные характеристики сведены в табл. 1) и поворотная многоспектральная камера с лазерным дальномером (основные характеристики камеры сведены в табл. 2).

Лазерный дальномер выполнен в безопасном для глаз спектральном диапазоне 1,54 мкм, имеет точность определения дальности 5 м в диапазоне инструментальных дальностей до 30 км.

Таблица 1. Характеристики сканирующей ИК-системы дальнего ИК-диапазона

Наименование	**Значение**
Поле обзора по горизонту	360°
Поле зрения по вертикали	от 15° до 20°
Разрешение по азимуту	0,9 мрад
Разрешение по углу места	0,55 мрад
Частота обзора	3 Гц
Спектральный диапазон	8 – 12 мкм
Охлаждение фотоприемника	до 80 К
Масса	50 кг
Энергопотребление	280 Вт
Диапазон рабочих температур	-10°С-+ 55°С

Таблица 2. Характеристики многоспектральной камеры

Наименование	**ИК канал**	**ТВ-канал**
Поле обзора по горизонтали	360°	360°
Поле обзора по вертикали	от -10° до 90°	от -85° до 85°
Поле зрения: - широкое - узкое	 15,0° х 11,25°; 8,0° х 6,0°; 4,0° х 3,0° 2,0° х 1,5°	2,1°-16,5° (перепад увеличений 6 крат)
Количество элементов разложения фотоприемника	384 х 288	1000 х 1000
Видеоразрешение	768 х 576	
Частота обзора	25Гц	25 Гц
Масса	50 кг	12 кг
Энергопотребление	200 Вт	300 Вт
Скорость обзора	до 100 градус/с	

Однако применение ОЭСН существенно ограничено при сложных метеоусловиях (снег, дождь, туман), а также отсутствием независимого некооперированного контроля за ВС в аэродромной зоне (функции ОРЛ-А). Основные ограничения, связанные с функционированием в сложных погодных условиях, рассмотрены ниже (раздел 1.3).

Учитывая недостатки радиолокационных и оптико-электронных информационных систем, а также опираясь на новые возможности, которые обеспечивают современные радиолокационные технологии, в НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан новый тип радиолокационно-оптического комплекса для применения в качестве основного информационного датчика в диспетчерских службах региональных аэродромов и аэродромов малой авиации [7, 8, 11]. В данном комплексе впервые в аэродромных РЛС совместно применяются две ветви технологии сверхширокополосных сигналов – технология сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИРЛ) и технология широкополосных сигналов с внутриимпульсной модуляцией и комплексирование с оптико-электронными системами.

Применение этих технологий позволяет создать радиолокационно-оптический комплекс, обеспечивающий ряд уникальных свойств:

– широкий диапазон рабочих дальностей (от 30 м до 30 км, опционально – до 50 км);

– высокую разрешающую способность по дальности (2 м) и угловым координатам;

– достоверное обнаружение малоразмерных, малоподвижных и неподвижных объектов на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности и гидрометеоров;

– реализация режима видения в радио, видимом и инфракрасном диапазонах длин волн.

1 Первичные обзорные радиолокаторы

Первичные обзорные радиолокаторы (ПОРЛ) в соответствии с нормативными документами ИКАО [3] используются для наблюдения на маршрутах средней дальности, наблюдения в районе аэродрома, при заходе на посадку и наблюдения за наземным движением и классифицируются как:

Посадочный радиолокатор

В соответствии с российскими нормативными документами [9, 10] посадочный радиолокатор (ПРЛ) – радиолокатор сантиметрового диапазона длин волн (3 см) ПРЛ должен обеспечивать выдачу на диспетчерские пункты УВД радиолокационной информации о местонахождении ВС относительно линии курса и глиссады с достаточно высокой точностью, однако данный тип аэродромных радиолокаторов в настоящее время постепенно выводится из эксплуатации как в России, так и во всем мире.

Обзорный радиолокатор аэродромный

Основное назначение обзорного радиолокатора аэродромного (ОРЛ-А) – обнаружение и определение координат ВС в воздушном пространстве района аэродрома. Зона действия ОРЛ-А при использовании в аэродромных АС УВД в соответствии с российскими нормативными документами [9, 10] – от 2 до 160 км, максимальная высота - 6 км (при нулевых углах закрытия, вероятности обнаружения не хуже 0,8 для ВС с

эффективной отражающей поверхностью 15 м^2) . Период обновления радиолокационной информации – не более 6 с, спектральный диапазон - дециметровый (23 см или 10 см).

Точностные характеристики ОРЛ-А по координатам (среднеквадратичное отклонение (СКО)) после цифровой обработки информации должны быть не хуже:

- по дальности– 150 м и 200 м при максимальной дальности 100 км и 160 км соответственно;

- по азимуту - не хуже 0,4°.

Разрешающая способность должна быть не хуже 1 % по дальности и 7° по азимуту.

В перспективе ОРЛ-А заменяется на описанные выше системы перспективные системы вторичной радиолокации и АЗН-В, что связано как с недостаточными для современных концепций навигации, так и с более высокой достоверностью идентификации ВС. Существенным фактором здесь также является облучение обслуживающего аэропорт персонала, пассажиров и жителей прилегающих территорий.

Радиолокационная станция обзора летного поля

Радиолокатор обзора летного поля или РЛС ОЛП является наиболее широко применяемой некооперативной системой для наблюдения на аэродромах и обеспечивает функции наблюдения в зонах, используемой для взлета, посадок и руления ВС.

С учетом необходимости контролировать движение на поверхности аэропорта зона действия нормами ИКАО по высоте ограничена 100 м с целью свести к минимуму влияние воздушного движения.

В соответствии с российскими нормативными документами РЛС ОЛП [9, 10], работающая в спектральном диапазоне длин волн от 0,8 до 3,2 см (как правило используются 8 мм РЛС), должна обеспечивать обнаружение ВС и транспортных средств с эффективной отражающей поверхностью не менее 1 м^2, находящихся на ВПП или РД с искусственным покрытием, с вероятностью не хуже 0,9 при вероятности ложных тревог по собственным шумам приемника не более 10^{-6}. Период обновления информации – не более 1,1 с. Зона действия РЛС ОЛП от 90 до 5000 м при интенсивности осадков не более 16 мм/ч. РЛС работает в обзорном режиме (360°), однако допускается и секторный режим работы.

Требуемые точностные характеристики РЛС ОЛП:

– СКО измерения координат на масштабе 2 км должна быть не более 10 м по дальности и 0,2° по азимуту.

– разрешающая способность по дальности и азимуту в режиме кругового обзора работы индикатора на масштабе 2 км должна быть не хуже 15 м.

Недостатки РЛС ОЛП:

– недостаточная пространственная разрешающая способность, невозможность контроля ориентации обнаруженных объектов при малых скоростях сближения;

– недостаточная контрастность получаемых изображений, что приводит к невозможности выделения птиц и малоразмерных предметов (в том числе неподвижных) на поверхности ВПП и РД;

– ограниченные возможности алгоритмов селекции движущихся целей в известных РЛС, что не позволяет надежно обнаруживать движущихся людей как на ВПП, так и на фоне отражения от травы за пределами ВПП;

– низкая стабильность получаемого радиоизображения, что значительно усложняет совмещение с векторной картой аэродрома;

– большая метеозависимость технических средств, что лишает возможности полноценно функционировать в условиях сильного дождя или мокрого снега.

Радиолокационные датчики миллиметрового диапазона

Дальнейшее развитие РЛС ОЛП планируется ИКАО в виде сети радиолокационных датчиков миллиметрового диапазона, которые будут использоваться для наблюдения на аэродроме и позволят получать более высокую разрешающую способность, чем традиционные РЛС ОЛП. Преимуществом таких датчиков являются небольшие размеры и вес, а также, как правило, более низкая потребляемая мощность.

При использовании радиолокационного датчика миллиметрового диапазона, работающего на длине волны 3 мм при ширине полосы 600 МГц, система будет иметь при обнаружении зону неопределенности 0,6 $м^2$ на расстоянии 1 км. Такой радиолокатор позволяет четко различать предметы, невидимые для традиционными РЛС ОЛП.

Радиолокаторы миллиметрового диапазона устанавливают в сетевой конфигурации для обеспечения полного покрытия ВПП. Обнаружение объектов осуществляется в результате обработки цифровых сигналов последовательного радиолокационного сканирования. Для идентификации объектов обычно используют дополнительные оптические или тепловые камеры.

К основным недостаткам таких датчиков относятся:

– резкое снижение характеристик при неблагоприятных погодных условиях и ограниченная зона действия.

– необходимость значительного количества датчиков на территории аэропорта, что приводит к большому количеству линий коммуникации, необходимости тщательной и регулярной калибровки каждого датчика;

– достаточно сложное программное обеспечение, которое должно оптимально обеспечивать «передачу» объекта (трассы) от одного датчика к другому с адаптацией к реальным условиям наблюдения в зависимости от диаграмм обратного рассеяния;

– изменяющиеся точностные характеристики определения местоположения при движении объекта, что особенно заметно при переходе от зоны действия одного датчика в зону действия другого.

2 Многофункциональные РЛС для управления воздушным движением

Проведенный анализ российского сегмента региональной авиации и имеющегося парка ПОРЛ управления воздушным движением (ВД) показал, что создание ПОРЛ нового типа, обеспечивающего интеграцию нескольких типов классических ПОРЛ, становится

актуальной задачей, при этом реализация ПОРЛ нового типа должна базироваться на использовании многофункциональной РЛС.

Создание многофункциональной РЛС (МфРЛС) контроля воздушного и наземного пространства в зоне аэродрома, способной заменить существующий и морально устаревший парк РЛС управления ВД, требует, на первый взгляд, использования трёхкоординатной станции с высокими угловыми точностями и темпом обзора порядка 1 секунды. Реализация такой МфРЛС связана с ограничениями по размеру апертуры антенной системы, необходимой зоне обзора, что приводит и к неоправданно дорогому технически сложному изделию на базе ФАР (АФАР).

Однако в практике организации воздушного движения РЛС не является в настоящее время единственным типом информационного датчика для обеспечения захода на посадку и контроля движения ВС. Наряду с РЛС активно используются радиомаячные системы, аппаратура глобального позиционирования и т.п. Так, например, существующие системы глобального позиционирования с аппаратурой дифференциального режима (например, ЛККС-А2000) обеспечивают пилотов высокоточной навигационной информацией с точностью по трём координатам на уровне 1 м.

Контроль за ВД частично переходит в область применения систем автоматического зависимого кооперативного наблюдения (АЗН-В ADS-B) [3], уже внедрённых рядом авиакомпаний и обязательных в ближайшей перспективе. АЗН-В ADS-B представляет собой прием наземными/воздушными средствами радиовещательной передачи с борта ВС данных о его местоположении (широте и долготе), абсолютной высоте, скорости, опознавательном индексе и другой информации, полученной от бортовых систем. Данные о местоположении и скорости ВС обычно получают от бортовой глобальной спутниковой навигационной системы (системы GNSS). На новых воздушных судах используются комплексированные инерциальные навигационные системы и GNSS для получения данных о местоположении, скорости и сведения о качестве данных, передаваемых системой ADS-B. Данные об абсолютной высоте часто получают от кодирующего устройства барометрического высотомера.

Для наблюдения устанавливаются наземные станции, предназначенные для получения и обработки сообщений ADS-B. При бортовом применении данных систем ВС, оборудованные приемниками ADS-B, могут обрабатывать сообщения от других ВС для определения воздушной обстановки.

Недостатки системы ADS-B:

– применение системы зависит от оснащенности всех ВС. Это может стать серьезной проблемой, так как требуется установка и сертификация навигационного средства, способного предоставлять информацию о местоположении ВС и его скорости наряду с указанием на целостность и точность такой информации;

– существующие средства при получении данных о местоположении и скорости ВС используют исключительно данные GNSS. Поэтому возможны отказы в случаях, когда

уровень характеристик или геометрия спутниковой навигационной группировки недостаточны для поддержки того или иного вида применения;

– в настоящее время практически отсутствует возможность проверки точности передаваемых данных о местоположении ВС.

При этом требования ИКАО запрещают использование только аппаратуры АЗН для управления воздушным движением. Таким образом, перспективные РЛС для контроля воздушного и наземного движения в зоне аэродрома должны преимущественно выполнять функции объективного контроля в зоне подхода, на последних участках глиссады и контроля обстановки на лётном поле.

Большинство указанных функций может быть реализовано с использованием двухкоординатной РЛС кругового обзора с расширенным лучом диаграммы направленности антенны (ДНА) в угломестной плоскости. Принципиально необходимой функцией контроля обстановки, не решаемой при такой схеме построения РЛС, остаётся измерение угла места ВС в зоне подхода и при движении ВС по глиссаде, а также получения изображения летного поля с высоким разрешением. Для решения данных задач в рассматриваемом радиолокационно-оптическом комплексе первичный обзорный радиолокатор на базе двухкоординатной РЛС комплексируется оптической локационной системой (ОЛС).

Сочетание двухкоординатного радиолокатора и ОЭС позволяют реализовать радиолокационно-оптический комплекс (Д-РЛК) с достаточно высокими для РЛС характеристиками точности по трём координатам. Спроектированный Д-РЛК оптимален по критерию эффективность-стоимость как информационный всепогодный датчик для контрольно-диспетчерской системы региональных аэропортов.

Д-РЛК обеспечивает:

– контроль и управление заходом на посадку ВС,

– мониторинг воздушной обстановки в зоне ответственности аэродрома,

– контроль и управление движением ВС и транспортных средств на поле аэродрома,

– контроль территории аэродрома, включая лётное поле.

3 Первичный обзорный радиолокатор радиооптического комплекса

При выборе оптимального частотного диапазона радиолокатора необходимо учитывать такие явления при распространении радиоволн через атмосферу, как рефракция, запаздывание по времени, вращение плоскости поляризации, дисперсионные явления и затухание в атмосфере. Затухание радиоволн в атмосфере обусловлено поглощением и рассеянием электромагнитной энергии кислородом, водяным паром и взвешенными частицами: пылинками, капельками воды, конденсированными в виде тумана, дождя и т.д.

Молекулярное поглощение особенно сильно проявляется в кислороде и водяных парах (рис. 1).

Рассмотренная зависимость затухания радиоволн от длины волны справедлива лишь для чистой атмосферы, т. е. при отсутствии метеообразований. При наличии метеообразований затухание радиоволн может существенно увеличиться (рис. 2).

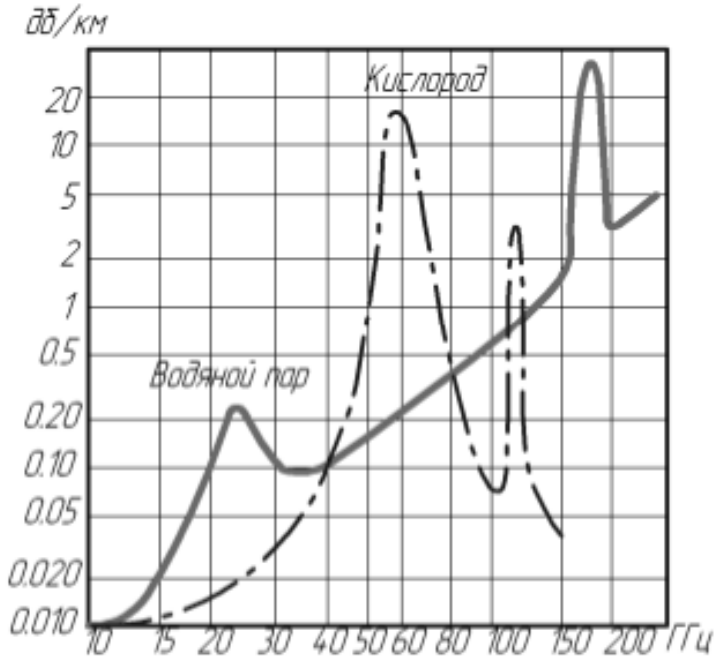

Рис. 1. Зависимость затухания радиоволн, вызванного кислородом воздуха и водяными парами, от частоты

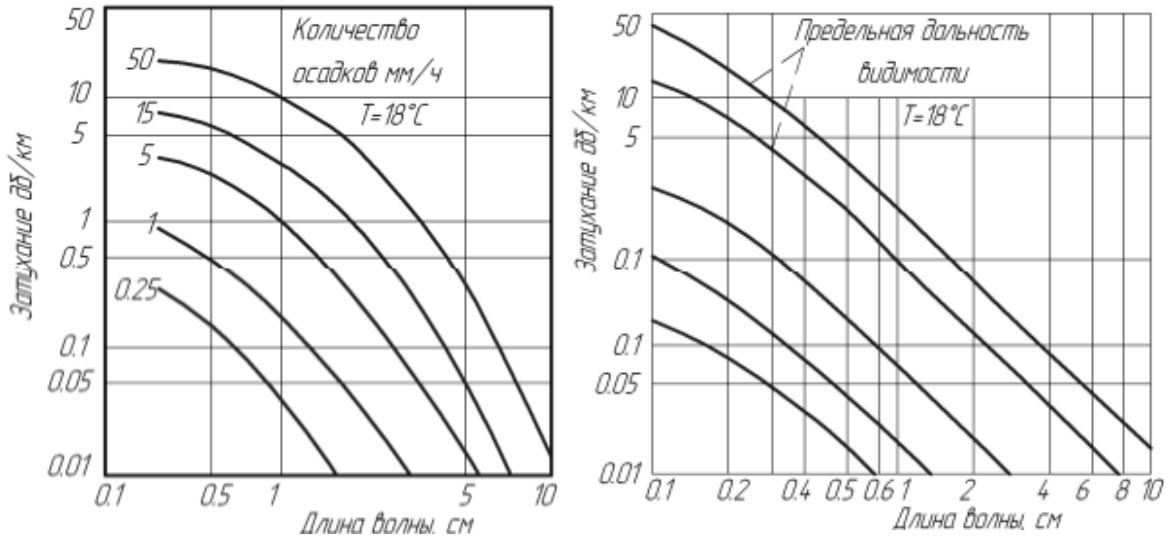

Рис. 2. Зависимость затухания радиоволн от длины волны: а - поглощение в дожде разной интенсивности ; б – туманы и облака

Град на миллиметровых волнах дает такое же затухание, как и дождь; затухание, вызванное сухим снегом, значительно меньше. Поглощение в мокром снеге в 2,5 раз больше, чем в дожде той же интенсивности. Облака средней интенсивности, содержащие

около 0,15 г/м^3 воды, дают поглощение около 0,6 дБ/км на длине волны 3 мм и около 0,0006 дБ/км на длине волны 3 см.

Анализ влияния метеофакторов показывает, что из рекомендованных частотных диапазонов для РЛС аэродромных служб наиболее предпочтителен 3 см диапазон длин волн.

Радиолокатор комплекса является полностью твердотельным с широким применением цифровой техники. Радиолокатор спроектирован как двухкоординатная РЛС кругового обзора, т.е. при первичной обработке измеряются только дальность и азимут. Причём дальность измеряется в радиолокационном канале с высокой точностью (порядка 0,5 м). Повышение точности измерения азимута и оценка третьей координаты (угла места), необходимой для контроля посадки ВС, обеспечивается оптико-электронным каналом – ОЭС на основе ТВ-камеры, работающим по целеуказаниям от РЛС.

Обеспечение решения широкого круга задач базируется на возможностях, предоставляемых используемыми типами зондирующих сигналов (ЗС), параметрах аппаратуры комплекса и специальных методах обработки.

Применение антенны со формой диаграммы направленности типа cosec^2 в вертикальной плоскости обеспечивает широкую зону обзора для контроля ВС в зоне ответственности аэродрома. Результаты расчета зон обнаружения РЛС Д-РЛК по ВС с ЭПР 1 м^2 и 10 м^2 в различных погодных условиях приведены на рис. 3 - 8. При расчете принята высота поднятия РЛС 20 м.

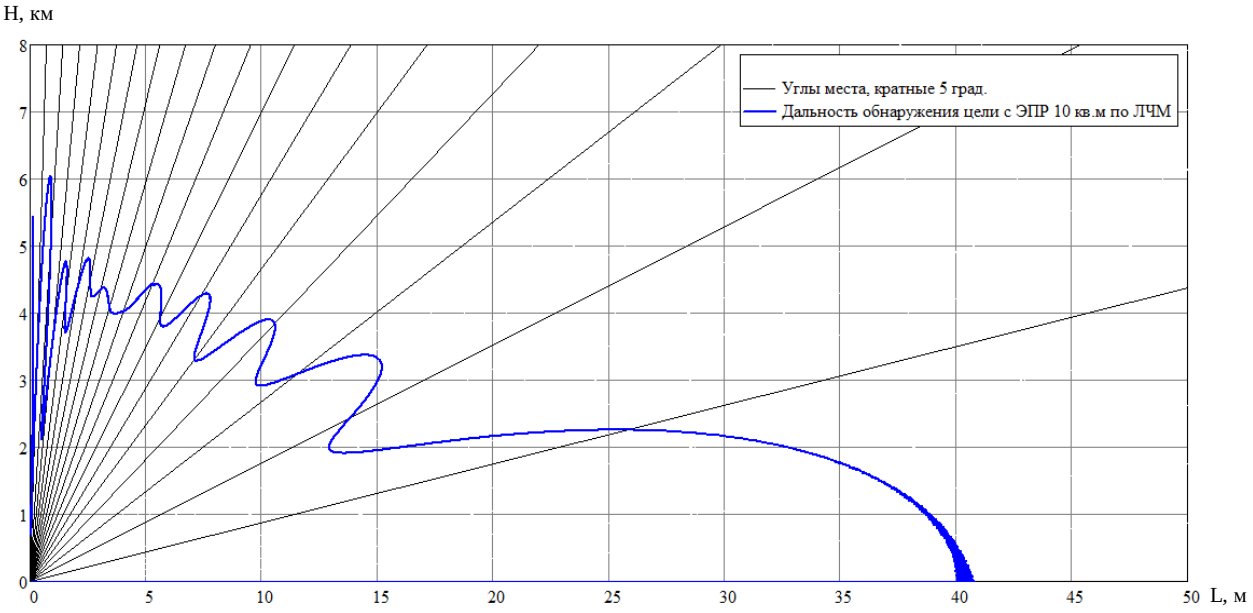

Рис. 3 Зоны работы РЛС в ясную погоду по ЛЧМ при обнаружении цели с ЭПР 10 м^2

H, км

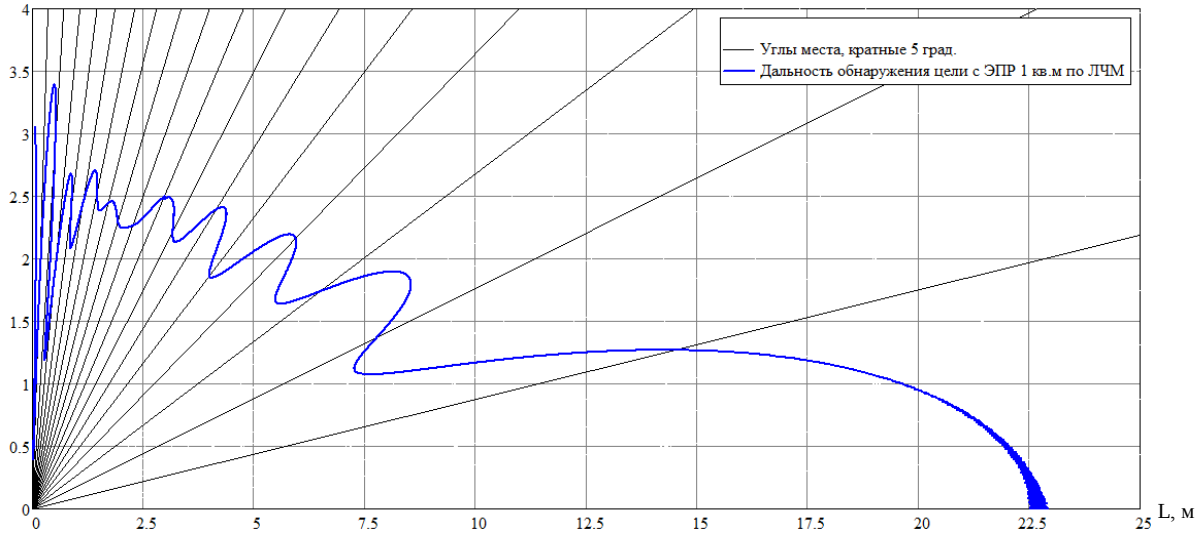

Рис. 4 Зоны работы РЛС в ясную погоду по ЛЧМ при обнаружении цели с ЭПР 1 м^2

H, м

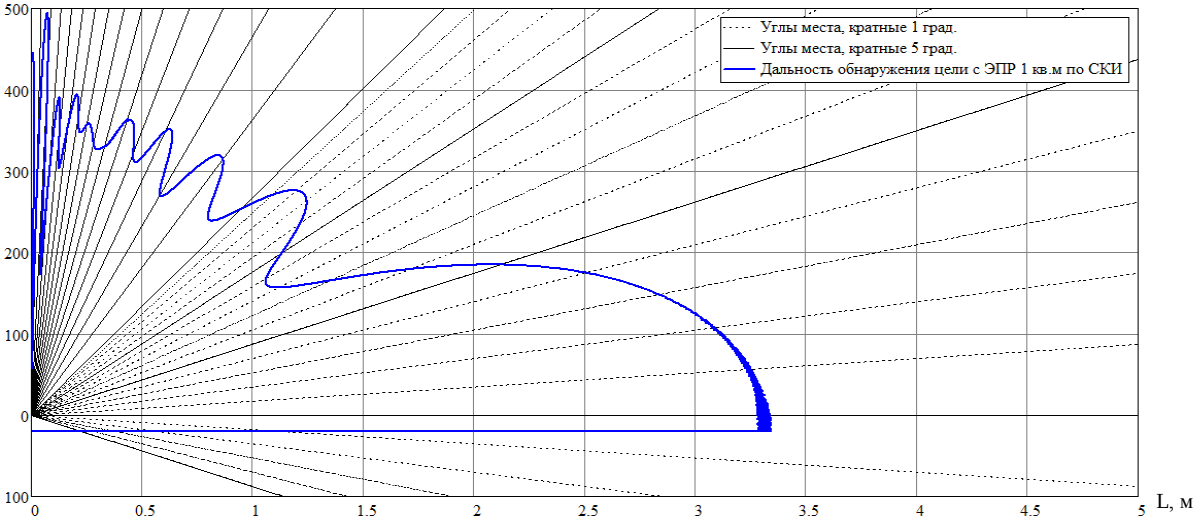

Рис. 5 Зоны работы РЛС в ясную погоду по СКИ при обнаружении цели с ЭПР 1 м^2

H, км

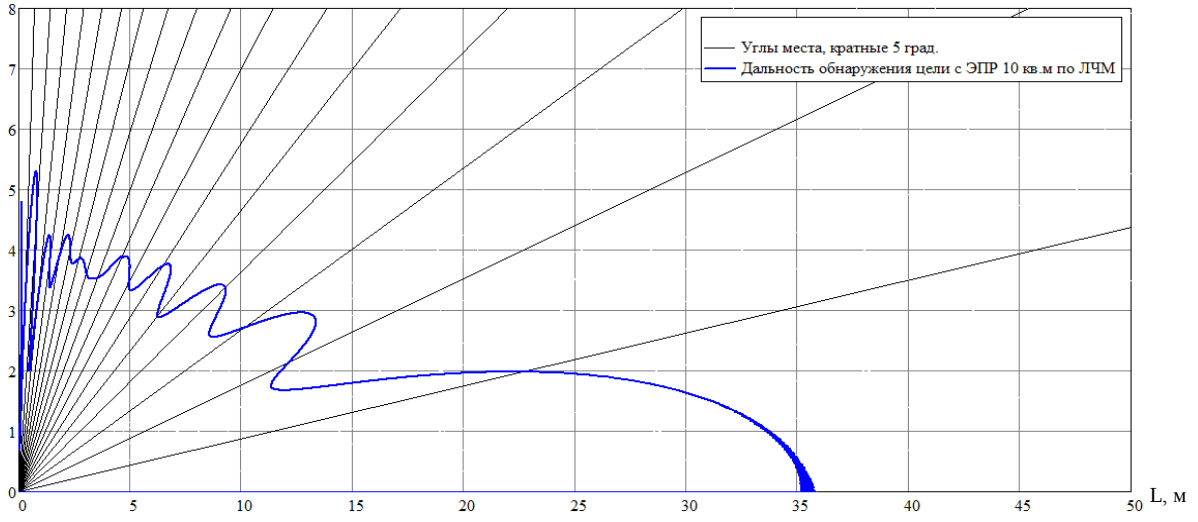

Рис. 6 Зоны работы РЛС в дождливую погоду по ЛЧМ при обнаружении цели с ЭПР 10 м^2

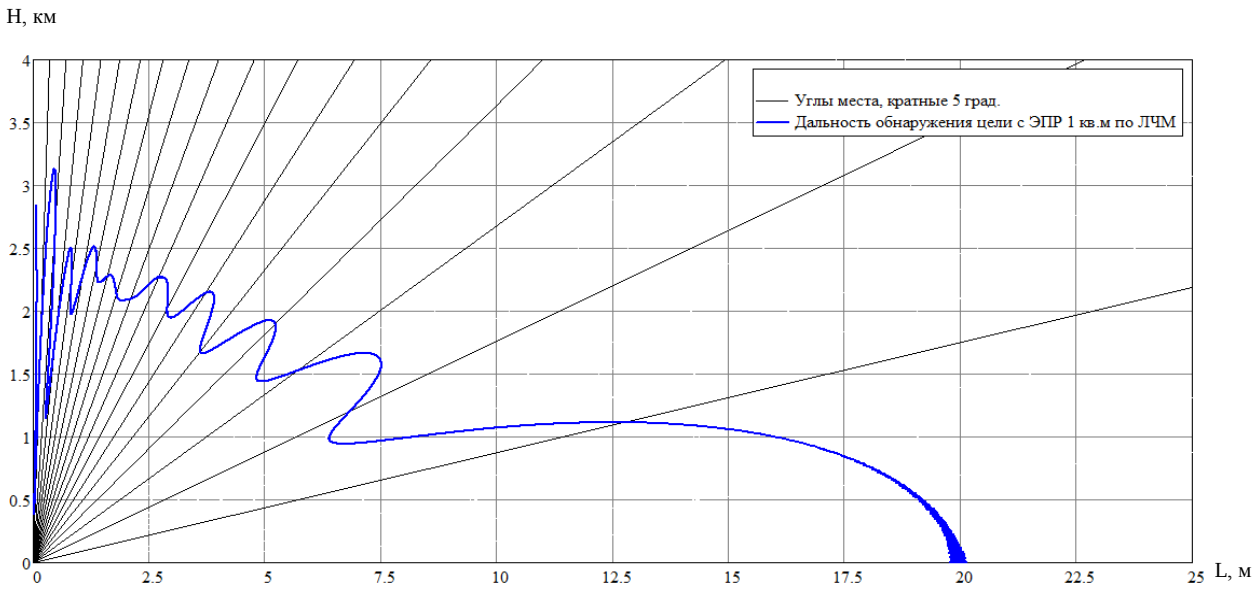

Рис. 7 Зоны работы РЛС в дождливую погоду по ЛЧМ при обнаружении цели с ЭПР 1 м^2

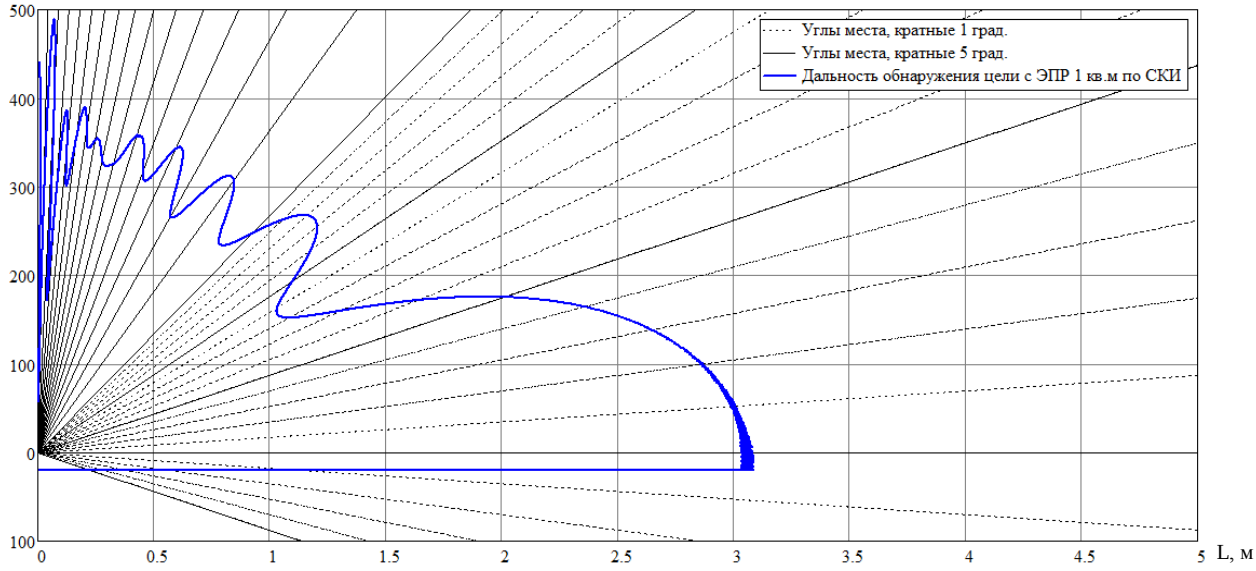

Рис. 8 Зоны работы РЛС в дождливую погоду по СКИ при обнаружении цели с ЭПР 1 м^2

Как видно из приведённых графиков, зоны обнаружения радиолокационного канала обеспечивают обнаружение различных типов ВС даже в сложных метеоусловиях.

4 Оптико-электронные средства в составе радиооптического комплекса

Двухкоординатная РЛС комплексируется оптической локационной системой (ОЛС). Оценим размеры сектора, в котором необходимо измерять угол места ВС при движении по глиссаде (Рис. 9). Двухкоординатная РЛС при этом является источником целеуказания

и измеряет азимутальный угол ВС и наклонную дальность достаточно точно (порядка 0,5 градуса и не хуже 0,5 м соответственно), а также дает значение скорости ВС.

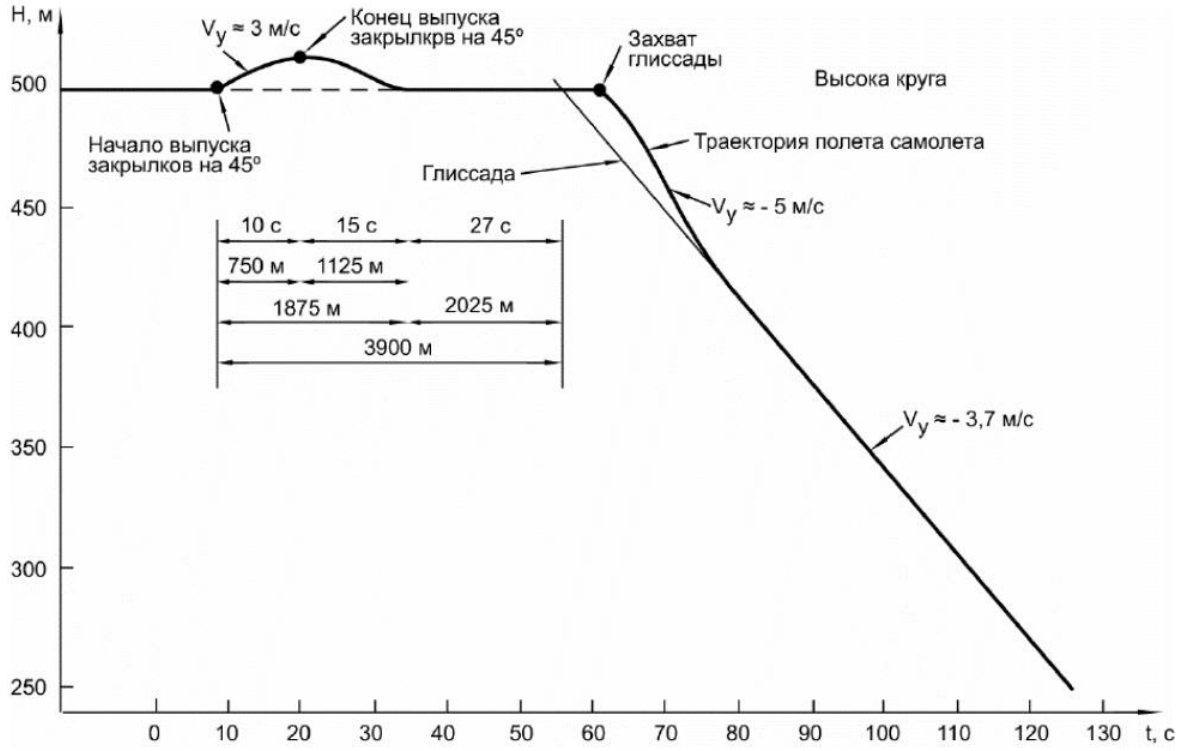

Рис.9. Пример движения ВС по глиссаде [13]

Учитывая, что высота и скорость захода на посадку ВС могут изменяться в широких пределах [12, 13] (даже для одного типа ВС она может изменяться более, чем на 40% , например, для ТУ-154Б – 235 … 380 км/час [12]), зона неопределенности положения ВС относительно точки захвата глиссады может достигать существенных величин.

Можно предположить, что в реальных условиях на ОЛС может быть возложена функция допоиска ВС в секторе по азимуту порядка 3 градусов (зона ошибок РЛС) и секторе по углу места порядка 7° … 10°. При этом допоиск осуществляется с наиболее вероятного направления по углу места:

$$\varepsilon_0 = arcsin\frac{H_{кр}}{D}, \qquad (1)$$

где $H_{кр}$ – номинальная высота круга (обычно 400 - 500) м, D – наклонная дальность, определенная РЛС и пересчитанная к точке стояния ОЛС (при большой дальности до цели), либо с оценки текущего положения ВС на глиссаде (при работе на меньших дальностях).

Оценим время допоиска ВС. При оценках высоты круга 500 м (и ее неопределенности 20 м) и наклонной дальности до ВС от 2000 до 5000 м, поле зрения ОЛС по углу места 6° время допоиска при равномерном распределении поисковых усилий

составит до 0,2 с (при скорости движения линии визирования ОЛС 40°/с). При этом ОЛС целесообразно устанавливать в районе торца ВВП. После обнаружения ВС в поле допоиска, ОЛС обеспечивает его сопровождение по угловым координатам вплоть до точки посадки.

Точность определения угловых координат ВС посредством ОЛС составляет (при поле зрения 9°х6°) величину порядка 40 угл. сек., что на дальности 2000 м соответствует линейному разрешению не хуже 0,4 м. Это существенно превышает требования по линейному разрешению, предъявляемые к информационным средствам ОЛП и ОРЛ-А.

Использование в ОЛС высокочувствительных ТВ-камер в сочетании со светосильным вариообъективом позволяет обеспечить наблюдение ВС на дальностях до $(1{,}3\ldots1{,}5)\cdot МДВ$ на фоне неба при выключенных посадочных фарах ВС.

Основные ограничения на использование оптико-электронных средств обнаружения в составе рассматриваемого многофункционального радиооптического комплекса связаны с их сильной зависимостью от погодных условий.

. Расчеты дальности наблюдения ВС и обзора летного поля в затрудненных метеоусловиях показывают следующее:

– оптико-электронные камеры видимого диапазона в условиях туманов категории I и II ICAO (метеорологическая дальность видимости (МДВ) 1220 м и 620 м) обеспечивают дальность наблюдения, не превышающую значение МДВ);

– оптико-электронные камеры ИК-диапазона позволяют обнаруживать ВС на дальностях, превышающих значение МДВ. В условиях туманов категории I и II использование дальнего ИК-диапазона позволяет обнаружить ВС с температурным контрастом 10°С при пороге обнаружения до 0,15°С на дальностях свыше 2,4 км.

Учитывая сильную зависимость функционирования оптических средств обнаружения от погодных условий, в условиях выпадающих осадков ослабление оптического сигнала на дальности L определяется как [14]:

$$\tau = exp\left(-0{,}21\cdot J^{0{,}74}\cdot L\right), \qquad (2)$$

где J – интенсивность осадков, мм/час.

Согласно нормам [15] при видимости меньше 2000 м и в ночных условиях ВС должно осуществлять посадку и взлет с включенными посадочными фарами, а во время полета в ночных условиях должны быть включены проблесковые и габаритные огни ВС.

Результаты расчетов для различных излучателей ламп-фар ВС и различной интенсивности осадков сведены в таблицу 3. Графически результаты расчетов представлены на рисунке 10.

Таблица 3 Результаты расчета дальности обнаружения ВС в условиях выпадающих осадков

Характеристики	Тип лампы-фары ВС		
	ЛФЛ27-1000	**ЛФЛ27-600**	**ЛФЛ28-600**
Осевая сила света излучателя, кд	670000	450000	400000
Сила света излучателя расчетная, кд	67000	45000	40000
Интенсивность осадков, мм/час Сильный дождь	16		
Ослабление атмосферное	0.029	0,037	0,04
Дальность обнаружения, м	2170	2016	1971
Интенсивность осадков, мм/час легкий дожль	4		
Ослабление атмосферное	0,097	0,12	0,127
Дальность обнаружения, м	3,981	3623	3,520

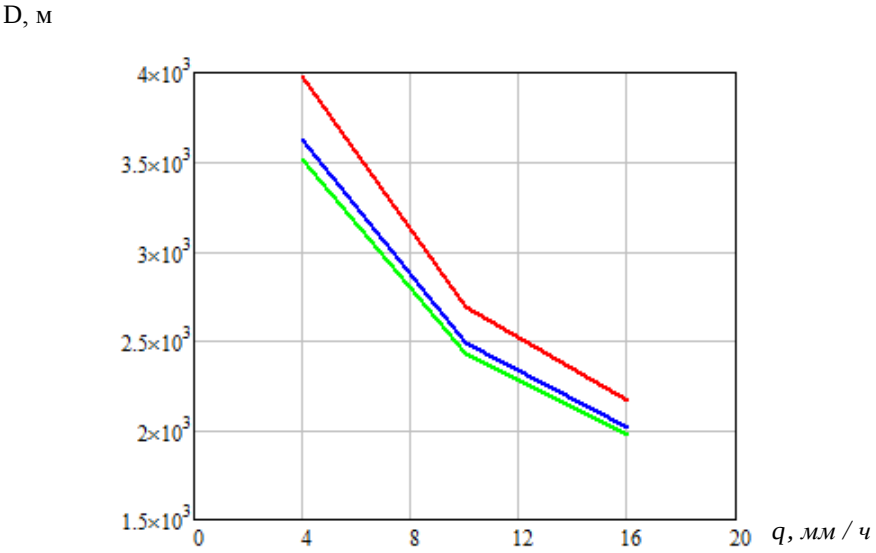

Рисунок 10 – Зависимость дальности обнаружения света посадочных фар ВС от интенсивности осадков. Сила света фары: 670 ккд, 450 ккд и 400 ккд (сверху вниз).

При максимальной интенсивности осадков 16 мм/час это позволяет наблюдать включенную посадочную фару ВС на дальности до 2000 м (ослабление оптического сигнала составляет не более 24 раз) и больше в зависимости от яркости источника излучения. Точность выдерживания глиссады необходимо оценить до высоты принятия решения (ВПР). Для возможных диапазонов углов глиссады от 3 до 7 градусов это обеспечивает контроль положения ВС на глиссаде от высоты (250-500) м до высоты ВПР. При МДВ более 2000 м ОЛС обеспечивают контроль положения ВС на всей глиссаде.

Дальность обнаружения ВС в ИК-диапазоне в условиях выпадающих осадков не превышает 1,9-2,3 км (при различной интенсивности теплового потока от ВС). Данные значения дальности обнаружения ВС характерны как для диапазона (8-12) мкм, так и для диапазона (3-5) мкм (с несколько худшими характеристиками вследствие большего поглощения излучения). Это не позволяет обнаруживать ВС в районе захвата глиссады (от 4 до 9 км от торца ВПП в зависимости от угла глиссады). Дополнительное ослабление

сигнала для лазерного дальномера при интенсивности дождя 16 мм/ч составляет 26 раз на 1 км трассы, что приводит к снижению дальности обнаружения до величин порядка 1 км (потери от поглощения в дожде на трассе 0,8 км эквиваленты потерям на распространение в атмосфере в условиях МДВ=9,8 км на трассе 20 км).

Проведенные оценки показывают существенные ограничения по дальности функционирования ОЭС в сложных метеоусловиях в автономном режиме и дают пределы работоспособности некомплексированных информационных ОЭС (например, разрабатываемых систем удаленного диспетчирования SmartVision фирмы Frequentis AG [4]).

5 Разрешающая способность радиооптического комплекса Д-РЛК

Применение технологии СКИРЛ [16] и методов селекции движущихся целей без использования эффекта Доплера [17, 18] позволяет обеспечить высокодетальный контроль обстановки на летном поле аэродрома. Высокая разрешающая способность по дальности и контрастность радиолокационного изображения позволяет обнаруживать человека на летном поле аэродрома. Для обеспечения снижения уровня ложных тревог в радиолокационном канале при обнаружении малоразмерных целей используется оптико-электронный канал. Высокая разрешающая способность по дальности также позволяет контролировать движение транспорта и ВС с автоматическим прогнозированием критических ситуаций, для уточнения которых так же может использоваться оптическая информация. Эти возможности особенно важны при реализации функции ОЛП и охранных функций, что также обеспечивается данным радиолокационно-оптическим комплексом. Высокие селективные свойства, обусловленные малым импульсным объемом и отсутствием боковых лепестков у автокорреляционной сигнальной функции обеспечивает детальный обзор и контроль за состоянием техники на поле аэродрома и состоянием ВПП и РД (на предмет выявления препятствий и посторонних предметов).

Из анализа требований, предъявляемых к аэродромным радиолокаторам различного назначения и оговоренных в различных регламентирующих документах, следует, что спроектированный радиолокатор не в полной мере соответствует всем оговоренным в этих документах требованиям. Это вполне объяснимо, поскольку радиооптический комплекс Д-РЛК построен на базе радиолокатора нового поколения информационных датчиков и не может в полной мере обеспечить параметры всех классических типов ПОРЛ, применяемых в крупных аэропортах. Одной из причин является то, что ряд параметров, оговоренных в регламентирующих документах, был определен, исходя из возможностей прошлого поколения навигационных бортовых наземных систем и радиолокационных технологий прошлого столетия.

Поясним этот тезис на одном примере.

Для РЛС ОЛП оговорены требования по разрешающей способности по азимуту и дальности на уровне 15 м по цели (в виде уголкового отражателя) на расстоянии 2000 м от РЛС, т.е. селективные свойства РЛС ОЛП при таком подходе определяются зоной

неопределенности в виде квадрата площадью 225 м^2. Отметим, что для обеспечения такой разрешающей способности по азимуту РЛС ОЛП должна иметь антенную систему с горизонтальным размером апертуры антенны, работающей в 3-х см диапазоне (для обеспечения работоспособности в наихудших погодных условиях) порядка 5 - 6 м. Реализация такой антенной системы усложняет и удорожает радиолокатор. Уместно заметить, что в настоящее время даже в крупных аэропортах РЛС ОЛП с длиной волны излучения 3 см имеют антенны с меньшими размерами и не обеспечивают требования разрешения 15 м по азимуту на дальности 2 км. Требуемый показатель по разрешающей способности достигается использованием РЛС ОЛП миллиметрового диапазона длин волн, однако эти РЛС неработоспособны в сложных метеоусловиях.

Однако большинство объектов, подлежащих контролю на поле аэропорта, не имеет квадратную форму, а возможность селекции (разрешения), в частности, на плоскости, определяется зоной неопределённости, которая зависит от разрешения по дальности и азимуту. Поскольку основным фактором для определения вероятности правильного обнаружения в РЛС ОЛП является отношение сигнал/(фон+шум), то должна нормироваться величина площади элемента разрешения (определяющая мощность фоновой компоненты).

При таком подходе к оценке разрешающей способности радиолокатор Д-РЛК обеспечивает разрешающую способность по дальности и азимуту 2х27 м^2 (соответственно площадь зоны неопределенности 54 м^2). Следовательно, селективные свойства радиолокационной подсистемы комплекса повышаются в 4 раза. Другими словами обоснованный переход к оценке разрешающей способности с позиций селективных свойств, определяемых площадью элемента селекции, а не ее линейными размерами, позволяет за счёт повышения разрешающей способности по дальности снизить требования к разрешающей способности по азимуту, при этом выигрывая в возможности селекции. Это особенно важно, поскольку подобный подход позволяет уменьшить размеры антенной системы, что упрощает и удешевляет Д-РЛК.

Приведённые выше соображения о селективных свойствах, определяемых разрешающей способностью радиолокационного канала Д-РЛК, справедливы во всей зоне обзора в сложных метеоусловиях. Однако использование ОЭС в режиме слежения за объектом по целеуказанию радиолокационного канала резко повышает селективные свойства радиолокационно-оптического комплекса. ТВ-камера при работе по целеуказанию от РЛС на разумно ограниченных дальностях может обеспечить угловое разрешение порядка 0,5 угл. мин. в хороших метеоусловиях и не хуже 3 угл. мин. в сложных метеоусловиях по обеим угловым координатам. Следовательно, Д-РЛК в режиме комплексирования работы радиолокационного и оптико-электронного каналов превосходит требования к РЛС ОЛП по обеим угловым координатам на порядок (менее 1,8 м по сравнению с 15 м).

Применение новых технологий в радиолокации [6, 19] и комплексирование с оптико-электронными средствами [7, 8, 11] позволило спроектировать в НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э.

Баумана принципиально новый радиолокационно-оптический комплекс, который обладает характеристиками, приведенными в табл. 4.

Таблица 4. Основные технические характеристики Д-РЛК

Технические характеристики	**Значение**
РЛС	
темп обзора пространства, сек	1
зона обзора по азимуту, град	360
диапазон частот, см	3
импульсная мощность, кВт, не менее	0,5
габаритные размеры антенной системы, м не более	2,2×0,6
минимальная длительность импульсного зондирующего сигнала, нс, не более	10-20
максимальная длительность сложного зондирующего сигнала, мкс, не более	30
инструментальная дальность, км	30
минимальная дальность обнаружения целей, м не более	30
количество обслуживаемых целей, не менее	64
разрешающая способность: по дальности, не более м по азимуту, не более град	 2 0,8
погрешность определения координат для точечных объектов: по дальности, не более м по азимуту, не более угл. Мин	 0,5 20
коэффициент шума приёмных модулей, дБ, не более	3
ОЛС	
размер поля зрения телевизионной камеры ОЛС (угол места/азимут), град не более	6x9
скорость углового перемещения телевизионной камеры, град/с не менее	40
максимальный перепад увеличений, не менее	$0,5^x \ldots 2^x$
разрешение телевизионной камеры, угл. мин. при поле зрения 9x6 градусов, не менее	0,65
погрешность определения координат для малоразмерных объектов: по углу места, не более угл. мин по азимуту, не более угл. Мин	 1 1

Заключение

Анализ мировых тенденций развития и технических характеристик перспективных средств наблюдения позволил обосновать облик и предложить технические решения для нового отечественного комплекса, предназначенного в первую очередь для региональных аэродромов и учитывающего специфику эксплуатации таких средств в Российской Федерации.

Применение новых технологий в радиолокации позволило спроектировать высокоинформативный радиолокационно-оптический комплекс, обеспечивающий задачи, стоящие перед всепогодным информационным датчиком системы наблюдения за воздушными суднами и наземным движением в региональных аэродромах. Комплексирование пассивного оптико-электронного и радиолокационного каналов позволило качественно (более чем на порядок) поднять точности определения угловых

координат на малых дальностях (например, оконечном участке глиссады и при обзоре летного поля), где они наиболее важны.

Поскольку до настоящего времени комплексы, подобные Д-РЛК, отсутствовали, их функции и возможности не отражены в существующих регламентирующих документах и, следовательно, назрела необходимость пересмотра существующих или введения новых регламентирующих документов по обеспечению информационно-полетного обслуживания на региональных аэродромах.

Статья выпущена в рамках НИОКТР "Реализация комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства радиолокационного комплекса для системы управления воздушным движением с удаленной диспетчеризацией", выполняемой МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО «РТИ» в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, в целях реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», при финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Глобальный аэронавигационный план на 2013-2028 гг. / Международная организация гражданской авиации. Монреаль: ИКАО, 2013. 147 с.
2. Шумов А.В. Анализ целевых направлений развития технических средств наблюдения глобальной аэронавигационной системы // Радиооптика. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 5. С. 128-136. DOI: 10.7463/rdopt.0515.0825966
3. Руководство по авиационному наблюдению / Международная организация гражданской авиации. Монреаль: ИКАО, 2012. 336 с.
4. Frequentis AG: сайт компании. Режим доступа: www.frequentis.com (дата обращения 20.04.2015).
5. Авиационные Правила. Часть 170. Сертификация оборудования аэродромов и воздушных трасс. Том II. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс. Межгосударственный Авиационный Комитет , 2013. 216 с.
6. Ananenkov A.E., Skosyrev V.N., Konovaltsev A.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V. Multi-functional aerodrome controlradar by USPR technology // Proc. of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014) (St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014). In 6 vols. Vol. 1. International Council of Aeronautical Sciences (ICAS), 2014. Art. no. ICAS2014_0146. P. 3867-3873.
7. Кочкин В.А., Нефедов С.И., Скосырев В.Н., Шумов А.В. Концепция создания многоспектральной системы наблюдения для региональной авиационной инфраструктуры России // XI Всероссийская научно-техническая конференция

«Радиооптические технологии в приборостроении»: матер. М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2015. С. 62-80.
8. Скосырев В.Н., Кочкин В.А., Ананенков А.Е. Пути создания радиооптического комплекса контроля воздушного и наземного пространства в зоне аэродрома // XI Всероссийская научно-техническая конференция «Радиооптические технологии в приборостроении»: матер. М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2015. С. 100-103.
9. Нормы годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс (НГЭО-81). М.: Воздушный транспорт, 1983. 129 с.
10. Изменения и дополнения к нормам лётной годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс (НГЭО-81) и методикам оценки соответствия нормам годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс (МОС НГЭО). Л., 1991. 79 с.
11. Скосырев В.Н., Слукин Г.П., Нефедов С.И., Федоров И.Б., Ананенков А.Е. Радиооптический комплекс для диспетчерских служб региональных аэропортов // XI Всероссийская научно-техническая конференция «Радиооптические технологии в приборостроении»: матер. М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2015. С. 104-109.
12. Пятин А.И. Динамика полета и пилотирование самолета Ту-154: учеб. пособие. М.: Воздушный транспорт, 1994. 192 с.
13. Особенности выполнения полетов самолета Ту-204-300 в особых случаях: учеб. пособие / сост. В.П. Бехтир. Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2010. 101 с.
14. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М. и др. Основы импульсной лазерной локации / под ред. В.Н. Рождествина. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 571 с.
15. Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации». М., Минтранс России, 2009.
16. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Ананенков А.Е., Коновальцев А.В. Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации – ключ к повышению информационных возможностей РЛС // I Международная конференция «Сверхширокополосные сигналы и сверхкороткие импульсы в радиолокации, связи и акустике» (г. Суздаль, 27-29 сентября 2005 г.): матер. Суздаль, 2005.
17. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Ананенков А.Е., Марин Д.В., Соколов П.В. Пути повышения наблюдаемости малоразмерных объектов в РЛС малой дальности // X Всероссийская научно-техническая конференция «Радиооптические технологии в приборостроении»: матер. М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2014. С. 306.
18. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
19. Скосырев В.Н., Ананенков А.Е. Инновационные пути повышения потенциала перспективных цифровых РЛС // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 661-666. Режим доступа: http://engbul.bmstu.ru/doc/751328.html (дата обращения 01.10.2015).

Science & Education of the Bauman MSTU
Electronic journal
ISSN 1994-0408

Science and Education of the Bauman MSTU, 2015, no. 11, pp. 301–324.

DOI: **10.7463/1115.0825935**

Received: 12.10.2015
Revised: 27.10.2015

© Bauman Moscow State Technical Unversity

Ways to Create the Radio-Optical Airspace and Surface Control System for Dispatch Services of Regional Airports

V.N. Skosyrev[1], V.A. Kochkin[1], A.V. Shumov[1,*], A.E. Ananenkov[1], G.P. Slukin[1], S.I. Nefedov[2], I.B. Fedorov[1]

*shum_ov@mail.ru

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
[2]Central Scientific Research Institute of Radio Engineering n.a. A.I. Berg, Moscow, Russia

Keywords: air navigation, dispatch service, opto-electronic systems, RLS, ultra-wideband signals

Various countries today are actively seeking concept of the future complex equipment to provide information support for the control and dispatch services of regional airports and small aircraft aerodromes. This is due to the general trend towards the air traffic intensification, especially that of small aircrafts, as well for economic reasons to reduce the cost of info-dispatching system of regional airports compared with the large airports. Radars for different-purpose are the most universal and all-weather information sensors for aerodrome control services.

For regional airports where air traffic is low, the use of information and dispatching systems based on radars, air-field surveillance radars, and approach radars is unreasonably expensive. For the last few years, optoelectronic information systems for info-dispatching systems of regional airports have been developing. When using the optoelectronic information systems at the regional aerodromes in our country there are problems of ensuring the full operation of the airport systems in adverse weather conditions (snow, rain, fog) and a lack of the independent control of the aircraft flight in the airport control zone.

Development of new technologies in radar enabled us to design a highly informative radar-and-optical complex to accept the challenges of the all-weather information sensor in control and dispatching system of regional airports. This complex, for the first time in the aerodrome radars, uses two branches of the ultra-wideband signal technology together, namely: very short pulse radar (VSPR) technology and that of the wideband inter-pulse signals and integration with optoelectronic systems. Integration of passive optical-electronic and radar channels allowed us to raise the accuracy of determining the angular coordinates at small ranges, where they are most important.

However, since so far there were no complexes, such as “D-RLS”, the existing regulatory documents do not reflect their functions and capabilities and, therefore, there is a need to revise existing, or introduce new regulatory documents to ensure air traffic control in regional aerodromes.

Reference

1. *Capacity and Efficiency. Global Air Navigation Plan. 2013-2028*. Montreal, Canada, Publ. of The International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013.
2. Shumov A.V. Analysis of trends in the development of technical means of monitoring global air navigation system. *Radiooptika. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurn. = Radiooptics. Bauman MSTU*, 2015, no. 5, pp. 128-136. DOI: 10.7463/rdopt.0515.0825966 (in Russian).
3. *Aeronautical Surveillance Manual*. Montreal, Canada, Publ. of The International Civil Aviation Organization (ICAO), 2012.
4. Frequentis AG: company website. Available at: www.frequentis.com , accessed 20.04.2015.
5. *Aviatsionnye Pravila. Chast' 170. Sertifikatsiya oborudovaniya aerodromov i vozdushnykh trass. Tom 2. Sertifikatsionnye trebovaniya k oborudovaniyu aerodromov i vozdushnykh trass* [Aviation Regulations. Pt. 170. Certification of equipment airfields and air routes. Vol. 2. Certification requirements for equipment airfields and air routes].The Interstate Aviation Committee, 2013. 216 p. (in Russian).
6. Ananenkov A.E., Skosyrev V.N., Konovaltsev A.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V. Multi-functional aerodrome controlradar by USPR technology. *Proc. of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014)*, St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014. In 6 vols. Vol. 1. International Council of Aeronautical Sciences (ICAS), 2014, art. no. ICAS2014_0146, pp. 3867-3873.
7. Kochkin V.A., Nefedov S.I., Skosyrev V.N., Shumov A.V. Concept of creation of multispectral surveillance system for regional aviation infrastructure in Russia. *11 Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Radiooptycheskie tekhnologii v priborostroenii": mater.* [Proc. of the 11th All-Russian scientific and technical conference "Radio-optical technologies in instrument engineering"]. Moscow, Publ. of Moscow scientific - technical society of radio engineering, electronics and communication named after A.S. Popov, 2015, pp. 62-80. (in Russian).
8. Skosyrev V.N., Kochkin V.A., Ananenkov A.E. Towards the creation of radio-optical complex of control of air and ground space in terminal area. *11 Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Radiooptycheskie tekhnologii v priborostroenii": mater.* [Proc. of the 11th All-Russian scientific and technical conference "Radio-optical technologies in instrument engineering"]. Moscow, Publ. of Moscow scientific - technical society of radio engineering, electronics and communication named after A.S. Popov, 2015, pp. 100-103. (in Russian).
9. *Normy godnosti k ekspluatatsii v SSSR oborudovaniya grazhdanskikh aerodromov i vozdushnykh trass (NGEO-81)* [The standards of airworthiness equipment civil airfields and air routes in USSR (NGEO-81)]. Moscow, Vozdushnyy transport Publ., 1983. 129 p. (in Russian).
10. *Izmeneniya i dopolneniya k normam godnosti k ekspluatatsii v SSSR oborudovaniya grazhdanskikh aerodromov i vozdushnykh trass (NGEO-81) i metodikam otsenki sootvetstviya normam godnosti k ekspluatatsii v SSSR oborudovaniya grazhdanskikh aerodromov i vozdushnykh trass (MOS NGEO)* [Amendments and additions to the standards of airworthiness equipment civil of airdromes and air routes in USSR (NGEO-81), and

methods for assessing conformity with airworthiness equipment in civil airdromes and air lines in USSR (ISO NGEO)]. Leningrad, 1991. 79 p. (in Russian).

11. Skosyrev V.N., Slukin G.P., Nefedov S.I., Fedorov I.B., Ananenkov A.E. Radiooptical complex for dispatching services of regional airports. *11 Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Radiooptycheskie tekhnologii v priborostroenii": mater.* [Proc. of the 11th All-Russian scientific and technical conference "Radio-optical technologies in instrument engineering"]. Moscow, Publ. of Moscow scientific - technical society of radio engineering, electronics and communication named after A.S. Popov, 2015, pp. 104-109. (in Russian).
12. Pyatin A.I. *Dinamika poleta i pilotirovanie samoleta Tu-154* [Flight dynamics and piloting the Tu-154 aircraft]. Moscow, Vozdushnyy transport Publ., 1994. 192 p. (in Russian).
13. Bechtir V.P., ed. Osobennosti vypolneniya poletov samoleta Tu-204-300 v osobykh sluchayakh [Features of flights of Tu-204-300 aircraft in special cases]. Ulyanovsk, Ulyanovsk Higher Aviation School of Civil Aviation Publ., 2010. 101 p. (in Russian).
14. Kozintsev V.I., Belov M.L., Orlov V.M., et al. *Osnovy impul'snoi lazernoi lokatsii* [Basics of pulsed laser ranging]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 571 p. (in Russian).
15. *Federal'nye aviatsionnye pravila "Podgotovka i vypolnenie poletov v grazhdanskoi aviatsii Rossiiskoi Federatsii"* [Federal aviation regulations "Preparation and implementation of civil aviation of the Russian Federation"]. Moscow, Ministry of Transport of RF, 2009. (in Russian).
16. Skosyrev V.N., Nuzhdin V.M., Ananenkov A.E., Konoval'tsev A.V. Ultrashort pulse radar technology is the key to improving information capabilities of radar station. *1-ya mezhdunarodnaya konferentsiya "Sverkhshirokopolosnye signaly i sverkhkorotkie impul'sy v radiolokatsii, svyazi i akustike"* [Proc. of the 1st International Conference on Ultrawideband and Ultrashort impulse signals in radar, communications and acoustics], Suzdal, Russia, 27-29 September 2005. Suzdal, 2005. (in Russian).
17. Skosyrev V.N., Nuzhdin V.M., Ananenkov A.E., Marin D.V., Sokolov P.V. Ways of increasing observability of small objects in short range radar station. *10 Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Radiooptycheskie tekhnologii v priborostroenii": mater.* [Proc. of the 10th All-Russian scientific and technical conference "Radio-optical technologies in instrument engineering"]. Moscow, Publ. of Moscow scientific - technical society of radio engineering, electronics and communication named after A.S. Popov, 2014, p. 306. (in Russian).
18. Bakulev P.A., Stepin V.M. *Metody i ustroystva selektsii dvizhushchikhsya tseley* [Methods and devices of selection of moving targets]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1986. 286 p. (in Russian).
19. Skosyrev V.N., Ananenkov A.E. Innovative ways to increase the potential of promising digital radar station. *Inzhenernyi vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Engineering Herald of the Bauman MSTU*, 2014, no. 12, pp. 661-666. Available at: http://engbul.bmstu.ru/doc/751328.html , accessed 01.10.2015. (in Russian).