

УДК 621.396.9

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОСАДОЧНОМ РАДИОЛОКАТОРЕ**Кузьменков Владимир Юрьевич**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела ОКБ «Научно-производственного объединения «Лианозовский электромеханический завод» («НПО «ЛЭМЗ»).

E-mail: lezm_noginsk@bk.ru.

Адрес: 127411, г. Москва, Дмитровское шоссе, 110.

Аннотация: Описаны результаты экспериментов по применению оптико-электронных средств в интересах повышения качества информационного обеспечения группы руководства полётами на аэродромах государственной авиации. Приводятся оценки качества измерений и предложения по дальнейшей работе.

Ключевые слова: группа руководства полётами, радиолокационная система посадки, оптико-электронные средства, измерение угловых координат, ошибки измерения, тепловизор.

Основным средством контроля захода воздушного судна на посадку для группы руководства полётами (ГРП) является посадочный радиолокатор (ПРЛ) из состава радиолокационной системы посадки (РСП). Успешно выдержавшая государственные испытания и принятая на снабжение РСП-27С [1] имеет в своём составе ПРЛ-27С с каналами курса и глиссады, в которых реализовано электронное сканирование лучом диаграммы направленности. На испытаниях подтверждены требуемые точностные характеристики ПРЛ-27С (усреднённые ошибки измерения на посадочном курсе составили по дальности порядка 5 м, по азимуту и углу места около 6 угл. мин.) [2]. Тем не менее, на углах места менее 1 градуса наблюдалось резкое увеличение ошибок измерения угла места, что связано с влиянием подстилающей поверхности на приёмную диаграмму направленности антенны канала глиссады.

При проведении диспетчерской оценки рабочих мест лиц ГРП радиолокационной системы посадки РСП-28М в рамках государственных испытаний было отмечено следующее [2, п. 7.21]:

«5. В реальных условиях выполнения полётов при определении ближней границы зоны ответственности руководителя зоны посадки (РЗП) получены следующие предварительные результаты: дальность – 1800 м от торца взлётно-посадочной полосы (ВПП) при высоте полёта ЛА – 70 м (угол глиссады 2°40'). Для уточнения предварительных результатов целесообразно провести дополнительные исследо-

вания для определения ближней границы зоны ответственности РЗП по дальности и высоте на этапе войсковых испытаний».

Алгоритмически компенсировать искажение диаграммы направленности приёмной антенны на малых углах места в настоящее время не представляется возможным. Это обусловлено большим числом случайных факторов: подстилающая поверхность, параметры ВПП, погодные условия, наземные объекты. Поэтому остаётся актуальной задача оценки качества работы каналов курса и глиссады ПРЛ в конкретных внешних условиях на конечном участке захода на посадку. В [3] предлагается для решения этой задачи использовать оптико-электронные средства (ОЭС) измерения угловых координат заходящего на посадку воздушного судна. В частности предлагается включить в состав ПРЛ встроенную оптико-электронную станцию контроля (ВОСК) качества работы каналов курса и глиссады.

Необходимо отметить, что одним из направлений повышения качества информационного обеспечения ГРП данными об обстановке на земле и в воздухе является применение для этих целей ОЭС. Однако имеющихся сведений о надёжности оптических измерений для управления полётами в районе аэродрома пока не достаточно. Во многом по этой причине в руководящих документах по обеспечению полётов не определен порядок применения таких средств для решения задач управления авиацией.

Кратко смысл применения ВОСК в ПРЛ можно описать следующим образом. На дальностях, где радиолокационные измерения обладают требуемым качеством (примерно от 7 до 3 км), параллельно производятся измерения с применением ОЭС. Если оценки угловых координат, полученные по радиолокационному и оптико-электронному каналам, близки, то измерения ВОСК можно считать достоверными и использовать как эталонные на дальностях ближе 3,5 км. В противном случае измерениям ВОСК в текущей обстановке доверять нельзя и ПРЛ функционирует в обычном режиме (без учёта измерений ОЭС). Если измерения ВОСК приняты достоверными, то по мере приближения ЛА оценивается дальность и высота, при которой радиолокационные измерения начинают существенно отличаться от измерений ВОСК. Это и есть искомые границы зоны ответственности РЗП.

Для оценки целесообразности применения ОЭС в ПРЛ был проведён технико-экономический анализ и ряд экспериментов по видеорегистрации посадки самолётов фронтальной авиации ОЭС в видимом и ИК диапазонах. Цель статьи – кратко описать полученные результаты.

В процессе технико-экономического анализа были выработаны следующие ограничения:

- среднеквадратические ошибки (СКО) измерений угловых координат летательных аппаратов (ЛА) с использованием ОЭС на дальности от 7 до 1 км от ПРЛ должны быть существенно меньше ошибок радиолокационных измерений (например, 1,5-2 угл. мин.);

- эксплуатационные характеристики (диапазон рабочих температур, влажности и пр.), показатели надёжности и транспортабельности (масса и габариты) не должны ухудшать аналогичные характеристики ПРЛ;

- стоимость ОЭС и средств обработки изображений не должна приводить к заметному увеличению стоимости модернизированного ПРЛ (например, не более 2 млн.руб.).

Анализ продукции ряда предприятий, разрабатывающих и выпускающих ОЭС, позволил сделать следующие выводы. ОЭС можно условно разделить на средства наблюдения и

измерительные средства. Последние позволяют измерять угловые координаты с точностью порядка десятка угловых секунд в следящем режиме и имеют относительно небольшое поле зрения (от 0,3 до 3 градусов). Это не позволяет без внешнего целеуказания и механического доворота контролировать посадку ЛА, а точность является явно избыточной (угловые размеры самолёта типа Су-25 по вертикали на дальности 3 км составляют около 5 угл. мин.). Для измерения пеленга в ИК-диапазоне применяются камеры с охлаждаемым приёмником излучения, что ухудшает эксплуатационные характеристики. Оптические системы с изменяемым фокусным расстоянием имеют механические элементы, что снижает надёжность и ресурс изделия. Измерения в следящем режиме предполагают наличие высокоточных поворотных устройств, что существенно влияет на массогабаритные характеристики. По указанным выше причинам стоимость ОЭС измерения на порядок выше, чем ОЭС наблюдения, а массогабаритные характеристики, надёжность и ресурс – ниже. Поэтому было принято решение провести эксперименты с применением серийных ОЭС наблюдения по измерению угловых координат заходящих на посадку воздушных судов.

При проектировании ОЭС для измерений углового положения заходящего на посадку ЛА существенным является то, что на аэродроме в поле зрения камеры всегда имеются ориентиры с известными координатами. Тогда задача оценки азимута и угла места сводится к измерению его угловых координат относительно находящихся в кадре ориентиров с известными пеленгами. Кроме того, при оценке ближней границы зоны ответственности РЗП нет необходимости проводить измерения в реальном масштабе времени. Например, анализировать результаты измерений радиолокационных каналов и ВОСК можно в паузе между посадкой разведчика погоды и началом полётов.

Было проведено два эксперимента по видеорегистрации посадок ЛА на одном из аэродромов ВВС в сентябре 2014 г. и в феврале 2015 г. в простых метеоусловиях. Цель первого

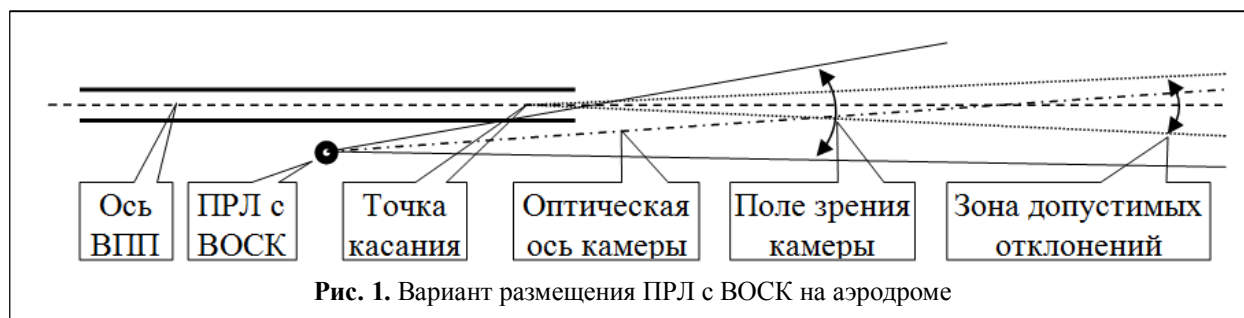


Рис. 1. Вариант размещения ПРЛ с ВОСК на аэродроме

эксперимента – убедиться в возможности обнаружения и измерения угловых координат заходящих на посадку самолётов с использованием серийных ОЭС наблюдения. Для видеорегистрации применялось пять разных камер: три ИК диапазона и две – TV-камеры видимого диапазона. Зарегистрировано 26 посадок самолётов типа МиГ-29, Су-24, Су-25, Су-27. Для некоторых посадок по индикатору ПРЛ штатной РСП были зарегистрированы дальности ЛА с привязкой ко времени. Полученные результаты подтвердили принципиальную возможность построения ВОСК на базе серийных ОЭС. Был сделан выбор в пользу определённых камер, которые применялись во втором эксперименте.

Принципы применения ПРЛ с ВОСК на аэродроме иллюстрирует рис. 1. На нём обозначены ВПП, точка стояния ПРЛ, зона допустимых отклонений от курса посадки. Оптическая ось камеры имеет уклон в сторону ВПП, поэтому поле зрения камеры позволяет получать измерения угловых координат практически до торца ВПП и при этом иметь относительно небольшое поле зрения, которое позволяет измерять угловые координаты самолёта типа Су-25 серийными отечественными ОЭС наблюдения на дальностях не менее 7 км.

Цель второго эксперимента – оценить дальность обнаружения и точность измерения с использованием выбранных камер. Основные характеристики ИК и TV каналов приведены в таблице 1.

Для оценки точки стояния ОЭС и положения оптической оси камер во втором эксперименте была проведена топопривязка с использованием координат аэродромных ориентиров и объектов за пределами аэродрома. В процессе эксперимента зарегистрировано 49 заходов

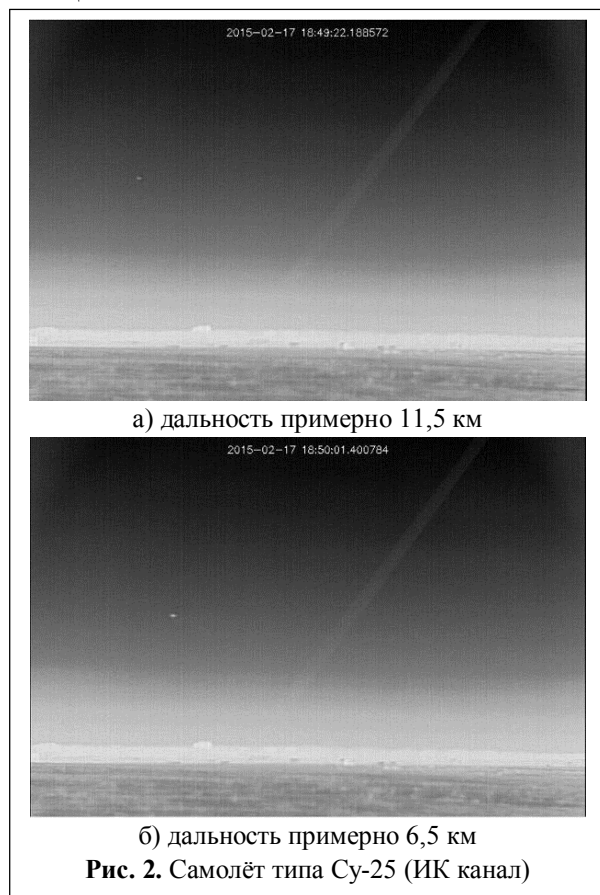
на посадку с привязкой по дальности с использованием индикатора ПРЛ. На рис. 2 и 3 приводятся кадры с отметкой от самолёта типа Су-25 на дальностях 10 и 5 км от торца ВПП, которые получены по ИК каналу и по TV каналу соответственно. Блок ОЭС находится от торца ВПП примерно на расстоянии 1,5 км.

Таблица 1. Основные характеристики ОЭС

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1. Тепловизионный канал		
	Разрешение детектора, тип детектора	Не менее 640*480 пикселей, неохлаждаемый микроболометр
	Размер пикселя детектора, мкм	17
	Спектральный диапазон, мкм	7,5-13,5
	Температурная чувствительность детектора, мК при 22°C	Не более 50 и $f \setminus 1.0$, с технологией снижения шума
	Поле зрения, фокусное расстояние объектива, светосила объектива	Не менее 8,3°(Г) x 6,2° (В); 75 мм; $f \setminus 1.0$
	Частота кадров изображения, кадров/с	25
2. Телевизионный канал		
	Детектор	1/2' Sony Super HAD CCD
	Разрешение детектора	Не менее 800 TVL; 1,3 Мпк
	Объектив (поле зрения, град.)	50 мм; F1.8 (7,2°)
	Разрешение видео	D1
	Частота кадров видео, кадров/с	25

Анализ результатов регистрации подтвердил возможность обнаружения выбранными ОЭС самолётов фронтальной авиации при заходе на посадку в зоне допустимых отклонений на требуемых дальностях. Для оценки точност-

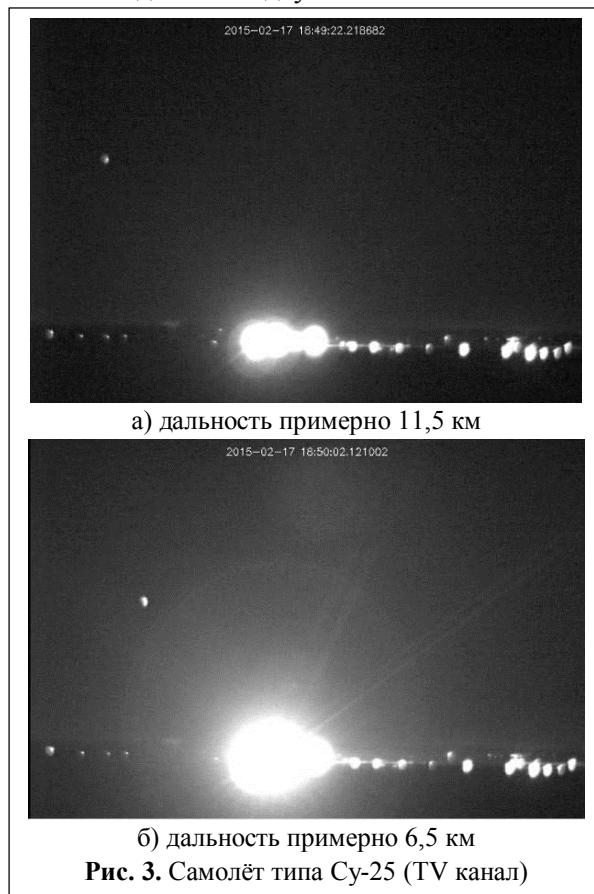
ных характеристик в качестве эталона использовались результаты бортового объективного контроля. Эти результаты содержат привязанные ко времени координаты ЛА, полученные с использованием спутниковых систем радионавигации.



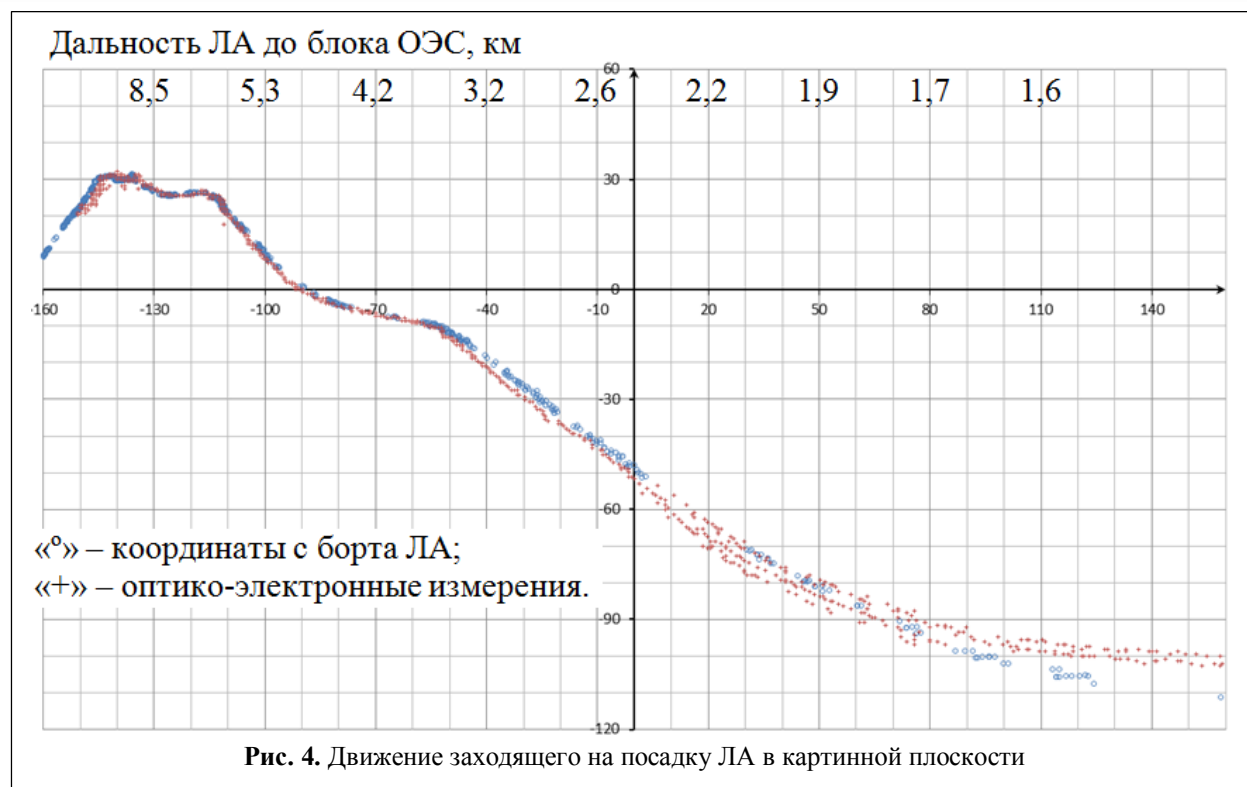
Анализ зарегистрированной видеoinформации показал, что в ИК диапазоне отметка от ЛА является достаточно компактной и стабильной (см. рис. 2). Это позволяет получать высокоточные измерения практически до порога ВПП. На этой дальности угловой размер двигательной установки самолётов фронтальной авиации, которая формирует ИК отметку, составляет примерно 5 угл. мин.

Из рис. 3 видно, что отметка от ЛА в видимом диапазоне искажается бортовыми прожекторами. Для разных типов ЛА и возможных ракурсов на глмсаде условия наблюдения могут существенно меняться в течении долей секунды. Так, например, у самолёта Су-25 прожектора расположены на концах крыльев. Их оси не параллельны. В процессе эксперимен-

тов имели место случаи, когда оптический центр отметки перемещался с одного конца крыла на другое. Если учесть, что размах крыла составляет 14 м, то на дальности 3 км погрешность оценки углового положения за счёт такого перемещения оптического центра отметки составит около 8 угловых минут. Кроме того, в темное время суток для подсвета концевой полосы безопасности на участке выравнивания и полосы точного приземления включаются аэродромные прожекторные станции, что видно на рис. 3. Создаваемые ими засветки и блики в TV канале создают помехи при измерении угловых координат ЛА на конечном этапе захода на посадку.



Известные методы компенсации подобных явлений основаны на выделении движущихся объектов на фоне неподвижных за счёт вычитания соседних кадров. Однако, при заходе на посадку возможна ситуация, когда отметка от движущегося ЛА на экране не перемещается. Это может продолжаться не одну секунду. Тогда, применение такого подхода в интересах



компенсации помехи, может привести к пропаданию полезного сигнала. С учётом этого измерения угловых координат целесообразно проводить по ИК каналу.

На рис. 4 в координатах «азимут-угол места» (в угловых минутах) изображено движение ЛА при заходе на посадку в натурном эксперименте. Измерения получены по ИК каналу и совмещены с бортовым объективным контролем.

Анализ зависимости, приведённой на рис. 4, позволяет сделать следующие выводы:

1. На дальностях 8,5 – 2,6 км максимальный разброс оценок угловых координат оптико-электронных измерений составляет 2 – 3 угловых минуты. График оценок угловых координат носит гладкий характер и наблюдается их совпадение с результатами бортового объективного контроля.

2. На дальностях ближе 2,6 км разброс оценок угловых координат по мере приближения к блоку ОЭС увеличивается. На этом этапе начинает сказываться тот факт, что размер отметки в ИК канале соизмерим, а в конце наблюдения существенно превышает погреш-

ности обработки видеoinформации, получаемой от блока ОЭС.

3. На конечном этапе появляется систематическая ошибка порядка 10 угловых минут, природу которой ещё предстоит определить. Линейный размер этой ошибки по высоте составляет примерно 7 м, что не является критичным с точки зрения I и II категорий минимума аэродрома.

Таким образом, по результатам проведённых исследований применения ОЭС для измерения угловых координат воздушных судов, заходящих на посадку, можно сделать следующие выводы:

1. На базе ОЭС наблюдения возможно создание относительно простого, надёжного и дешёвого измерителя угловых координат, который обеспечивает на малых углах места точность выше, чем эхо-канал ПРЛ в простых метеоусловиях. Этот измеритель позволит оценить ближнюю границу зоны ответственности РЗП.

2. Для оценки возможности применения оптико-электронных измерений в интересах сопровождения заходящих на посадку воздушных судов необходимо провести дополнитель-

ные исследования оценки их качества в сложных метеословиях.

3. Для получения экспертных оценок целесообразности использования оптико-электронных измерений для управления авиацией в районе аэродрома необходимо проводить эксперименты совместно со специалистами войсковой части 15650.

Поступила 18 апреля 2015 г.

Литература

1. Приказ Главнокомандующего ВВС от 06.11.2014 г. № 818 «О принятии на снабжение радиолокационных систем посадки РСР-27С и РСР-28М».
2. Акт №3/311210-007 ВП по государственным испытаниям опытного образца мобильной радиолокационной системы посадки РСР-28М (РСР-27С с модулем управления РСР-28М). Войсковая часть 15650, 2012.
3. ОКР «Модернизация РСР-27С, РСР-28М». Пояснительная записка. Часть 1. – М.: ОАО «НПО «ЛЭМЗ», 2013.

English

Application of optical-electronic measurements in approach radar

Vladimir Yuryevich Kuzmenkov – Candidate of Engineering, Senior Research Associate Head of OKB Department Research and Production Association "Lianozovsky Electromechanical Plant ("RPA LEMP).

E-mail: E-mail: lemz_noginsk@bk.ru.

Address: 127411, Moscow, Dmitrovskoye Highway, 110.

Abstract: The main control facility of aircraft landing approach for flight management team (FMT) is approach radar AR) which is a part of approach radar system (ARS). Elevation error measurements of small elevation angles are significantly increased due to influence of underlying surface on receiving antenna pattern of glideslope axis.

One of the ways to improve quality of FMT data support on ground and air activity is application of optical electronics (OE). However there is not enough data on reliability of optical measurements for airfield area flight management. Mainly that is why flight management guidelines do not determine application of these instruments for aviation control solution. (OE) application is proposed for assessment of air responsibility close-in zone border of landing officer (LO) and measurements quality before approaching this zone enables to manage aircrafts. The conducted experiments demonstrated that high-precision measurements of angular coordinates at short range can be obtained with their use (with errors no more than 2-3 arc minutes). Comparison of radar and optical measurements enables assessment of LO air responsibility close-in zone border. To evaluate potential use of optical-electronic measurements for following up landing approach aircrafts it is necessary to conduct additional researches for their quality assessment in heavy weather. Experiments are to be conducted jointly with specialists of research and testing institutions to obtain experts opinion of optical-electronic measurements applicability for airfield area flight management.

Key words: flight management team, approach radar system, optical electronics, measurement of angular coordinates, measurement errors, thermal imager.

References

1. Air Force Commander-in-chief order dt. 06.11.2014 No. 818 "On making operational approach radar systems RSP-27S and RSP-28M".
2. Act No. 3/311210-007 VP on state official tests of prototype model of mobile approach radar systems RSP-28M (RSP-27S with control unit RSP-28M). Troop unit 15650, 2012.
3. ОКР "Improvement of RSP-27S, RSP-28M". Explanatory note. Part 1. - М.: JSC NPO LEMZ, 2013.