

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.В. Ростопчин, М.Л. Дмитриев
ЦНИИ АРКС

В статье рассматриваются вопросы оценки эффективности использования цифровых оптических систем и устройств в беспилотной технике. Приведены данные по некоторым оптическим устройствам.

Беспилотные летательные аппараты приобрели широкую популярность благодаря возможности получать видовую радиотехническую информацию с местности, на которой трудно разместить оператора (наблюдателя). Развитие вычислительной техники и цифровых технологий обработки сигналов [1-3] позволило существенно повысить, качество, скорость и объемы обработки изображений, обеспечить их передачу на большие расстояния. Тем не менее, цифровые технологии имеют свои недостатки, которые оказывают влияние на эффективность их использования в средствах разведки и наблюдения.

Оптические системы в беспилотной технике применяются для:

- обзора местности и наблюдения за обстановкой на ней;
- получения детального изображения участков местности и объектов, находящихся на них;
- вскрытия объектов, находящихся на местности и визуально невидимых.

Технически системы реализуются в виде системы оптических устройств, размещаемых либо непосредственно в корпусе ЛА и жестко связанных с его конструкцией либо с помощью гиросtabilизированных платформ, обеспечивающих поворот оптических осей устройств в любую сторону с заданной скоростью.

Как правило, жесткая¹ связь оптической оси устройства с конструкцией ЛА используется для авиационных фотоаппаратов и оптических устройств обзора передней или другой полусфер ЛА. В табл.1[5] приведены примеры характерных оптических устройств, устанавливаемых на пилотируемые и беспилотные ЛА. Из приведенных данных видно, что оптические датчики и фотокамеры сильно отличаются по размерам и по массе. Очевидно, что реализация таких специфических требований как дальность до объекта съемки и высокое разрешение на местности неизбежно приводит к росту массы и стоимости подобных устройств.

¹ Термин «жесткая связь» является условным. Практически все оптические устройства, устанавливаемые в конструкцию ЛА, имеют возможность некоторого углового перемещения для компенсации углового положения ЛА относительно поверхности Земли и угловых колебаний самолета относительно осей нормальной системы координат [4].

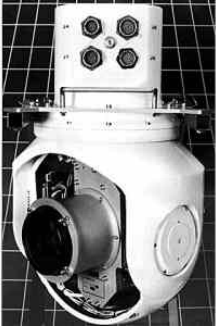

Таблица 1



Оптическое устройство	Основные технические данные
	<p><u>Страна-производитель:</u> США <u>Назначение, тип:</u> авиационная фотокамера большой дальности, KS-127B; <u>Фокусное расстояние:</u> 1,6704 м; <u>Диапазон высот применения:</u> до 10 км; <u>Наклонная дальность применения:</u> более 55 км; <u>Углы поля зрения:</u> 3,9⁰ x 3,9⁰ <u>Разрешение в режиме панорамной съемки:</u> 12 064 эл. x 32 лин. <u>Масса:</u> 272 кг</p>
	<p><u>Страна-производитель:</u> Великобритания; <u>Назначение, тип:</u> электронно-оптический датчик для разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета, Type 8040B; <u>Диаметр входной линзы:</u> 450 мм; <u>Диапазон высот применения:</u> от 60 м до 12 км; <u>Наклонная дальность применения:</u> от 300 м до 40 км; <u>Углы поля зрения:</u> 12,4⁰ x 6,2⁰; <u>Разрешение:</u> 8 угл. мин/12 288 эл. <u>Масса:</u> до 10 кг в зависимости от комплектации</p>
	<p><u>Страна-производитель:</u> Великобритания; <u>Назначение, тип:</u> электронно-оптический датчик для разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета, Type 8010; <u>Диаметр входной линзы:</u> до 150 мм; <u>Диапазон высот применения:</u> от 60 м до 12 км; <u>Наклонная дальность применения:</u> от 300 м до 40 км; <u>Углы поля зрения:</u> от 18,3 до 65,6⁰; <u>Разрешение:</u> 8 угл. мин/12 288 эл.; <u>Масса:</u> до 7,5 кг, с линзой 150 мм до 10,5 кг</p>
	<p><u>Страна-производитель:</u> Великобритания; <u>Назначение, тип:</u> оптическая камера для панорамной разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета, Vinten Type 950/955; <u>Диаметр входной линзы:</u> до 150 мм; <u>Углы поля зрения:</u> от 160⁰ x 40,0⁰; <u>Носитель информации:</u> 127 мм фотопленка; <u>Масса:</u> от 37 до 56 кг в зависимости от комплектации</p>

Применение подобных устройств позволяет решать большое количество практических задач, однако для получения качественного результата необходимо выполнение достаточно жестких требований к стабилизации положения ЛА в воздухе в момент проведения съемки. К сожалению, принцип устройства подобных агрегатов, в основном, не позволяет реализовывать режимы сопровождения целей, а при попытке реализации режима сопровождения цели, появляется большое количество ограничений и сложностей.

Более гибкими оказываются оптические устройства, размещаемые на гиросtabilизированных платформах. Мировая практика накопила достаточный опыт применения подобных устройств и рынок электронно-оптических систем наблюдения и разведки предлагает широкий ассортимент таких устройств (табл. 2 [5,6])

Таблица 2

Оптическое устройство	Основные технические данные
	<p><u>Страна-производитель:</u> ЮАР;</p> <p><u>Назначение, тип:</u> оптическая многодатчиковая система для разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета, TV and/or FLIR surveillance system;</p> <p><u>Стабилизация:</u> по двум осям;</p> <p><u>Углы поворота</u> платформы по азимуту: $360,0^{\circ}$;</p> <p><u>Углы поворота по углу места:</u> от $+20$ до -120°;</p> <p><u>Ошибка стабилизации по угловой координате:</u> <25 мрад;</p> <p><u>Точность отработки угловой координаты:</u> $< 3,0$ мрад;</p> <p><u>Диаметр устройства:</u> $0,35$ м;</p> <p><u>Высота устройства:</u> $0,5$ м;</p> <p><u>Углы поля зрения:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ТВ-камера: узкое поле: $1,5^{\circ}$; широкое поле: $22,6^{\circ}$; - ИК-камера: узкое поле: $2,2^{\circ}$; широкое поле: $7,8^{\circ}$; <p><u>Масса:</u> от 37 до 56 кг в зависимости от комплектации</p>
	<p><u>Страна-производитель:</u> Израиль;</p> <p><u>Назначение, тип:</u> оптическая многодатчиковая система для разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета, MOSP;</p> <p><u>Стабилизация:</u> по двум осям;</p> <p><u>Углы поворота</u> платформы по азимуту: $360,0^{\circ}$;</p> <p><u>Углы поворота по углу места:</u> от $+15$ до -105°;</p> <p><u>Ошибка стабилизации по угловой координате:</u> <25 мрад;</p> <p><u>Диаметр устройства:</u> $0,36$ м;</p> <p><u>Высота устройства:</u> $0,54$ м;</p> <p><u>Углы поля зрения:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ТВ-камера: узкое поле: $0,37^{\circ} \dots 1,3^{\circ}$; широкое поле: до $18,2^{\circ}$; - ИК-камера: узкое поле: $2,4^{\circ}$; широкое поле: $29,2^{\circ}$; <p><u>Лазерный дальномер-целеуказатель:</u> есть;</p> <p><u>Масса:</u> от 26 до 39 кг в зависимости от комплектации</p>

	<p><u>Страна-производитель:</u> Израиль, DSP-1;</p> <p><u>Назначение, тип:</u> оптическая многодатчиковая система для разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета;</p> <p><u>Стабилизация:</u> по двум осям;</p> <p><u>Углы поворота</u> платформы по азимуту: $360,0^{\circ}$;</p> <p><u>Углы поворота по углу места:</u> от $+10^{\circ}$ до -105°;</p> <p><u>Ошибка стабилизации по угловой координате:</u> <25 мрад;</p> <p><u>Точность отработки угловой координаты:</u> $< 1,2$ мрад;</p> <p><u>Диаметр устройства:</u> $0,32$ м;</p> <p><u>Высота устройства:</u> $0,50$ м;</p> <p><u>Угловое разрешение ТВ-камеры:</u> $3,8^{\circ}$;</p> <p><u>Углы поля зрения:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ТВ-камера: узкое поле: $0,92^{\circ} \dots 0,7^{\circ}$; широкое поле: $18,6^{\circ} \times 13,2^{\circ}$; - ИК-камера: узкое поле: $0,98^{\circ} \times 0,92^{\circ}$; широкое поле: $21,7^{\circ} \times 20,6^{\circ}$; <p><u>Лазерный дальномер-целеуказатель:</u> есть;</p> <p><u>Масса:</u> от 26 кг</p>
	<p><u>Страна-производитель:</u> Россия;</p> <p><u>Назначение, тип:</u> оптическая многодатчиковая система для разведки и наблюдения на малых и средних высотах полета СОН-112;</p> <p><u>Стабилизация:</u> по трем осям;</p> <p><u>Углы поворота</u> платформы по азимуту: $+180,0^{\circ} \dots -18,0^{\circ}$;</p> <p><u>Углы поворота по углу места:</u> от $+20^{\circ}$ до -90°</p> <p><u>Точность отработки угловой координаты:</u> $< 0,3$ мрад;</p> <p><u>Диаметр устройства:</u> $0,34$ м;</p> <p><u>Высота устройства:</u> $0,50$;</p> <p><u>Угловое разрешение ТВ-камеры:</u> $3,8^{\circ}$;</p> <p><u>Углы поля зрения:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ТВ-камера: узкое поле: $1,6^{\circ} \dots 1,2^{\circ}$; широкое поле: $8,0^{\circ} \times 6,0^{\circ}$; - ИК-камера: узкое поле: $4,0^{\circ} \times 3,0^{\circ}$; широкое поле: $18,0^{\circ} \times 13,5^{\circ}$; <p><u>Лазерный дальномер-целеуказатель:</u> есть</p> <p><u>Масса:</u> от 47 до 51 кг в зависимости от комплектации</p>

Использование гиросtabilизированных платформ с оптическими устройствами обеспечивает решение задач сопровождения выбранной цели при эволюциях ЛА в полете или изменении пространственного положения цели. Совместная установка телевизионной и инфракрасной камер позволяет существенно повысить информативность получаемого изображения, а дополнение в виде лазерного дальномера - целеуказателя дает возможность точного определения относительных координат цели.

Исходя из предлагаемого ассортимента оптических систем для БЛА, возникает вопрос выбора оборудования и оценки эффективности применения установленного оборудования.

1. Разрешающая способность оптико-электронной системы

Под разрешающей способностью цифровой оптической системы следует понимать способность оптической системы формировать на устройстве вывода (экран и т.п.) изображения предметов, находящихся на заданном удалении от объектива оптической системы с заданным уровнем детализации. Основным фактором определяющим разрешение оптико-электронной системы является ПЗС - матрица, на которую после объектива проецируется получаемое изображение. В табл. 3 приведены характерные данные для ПЗС - матриц, применяемых в оптико-электронных системах наблюдения, разведки и устанавливаемых на ЛА (в том числе и БЛА).

Таблица 3

Платформа	Применение	Матрица	Углы поля зрения объектива
Wescam 11SST Step-Stare	ТВ	640 x 512	28,7 ⁰ x 21,7 ⁰
Controp DSP-1	ТВ	256 x 256	21,7 ⁰ x 20,6 ⁰
Boeing SPIRIT	ТВ	1134 x 486	6,5 ⁰ x 6,5 ⁰
Versatron Skyball SA-144	ТВ	512 x 512	38,6 ⁰ x 30,0 ⁰
STN Atlas Elektronik ISOS 2000	ТВ	576 x 768	29,0 ⁰ x 38,0 ⁰
Zeiss Attica P256	ИК	256 x 256	14,0 ⁰ x 14,0 ⁰
Zeiss OPHELIOS WB6	ИК	576 x 768	28,8 ⁰ x 38,4 ⁰
Kentron Kenis	ИК	288 x 384	13,5 ⁰ x 18,0 ⁰
BAI Miniature PTZ	ТВ	752 x 528	-
Versatron SkyBall 14TS	ТВ	512 x 512	23 ⁰ x 17 ⁰
Versatron SmallBall	ТВ	256 x 256	23 ⁰ x 17 ⁰
УОМЗ СОИ 112	ИК	320 x 240	18,0 ⁰ x 13,5 ⁰
УОМЗ СОИ 112	ТВ	752 x 582	8,0 ⁰ x 6,0 ⁰

Источником видовой информации является земная поверхность или воздушное пространство. Углы поля зрения объектива определяют объем информации, снимаемый с земной поверхности и воздушного пространства, и оказывают сильное влияние на разрешающую способность устройства. Следует также учитывать, что видовая информация, выводимая на экран, отличается от физического содержания просматриваемого участка местности, как по цветопередаче [7], так и по соответствию изображения на экране реальным линейным

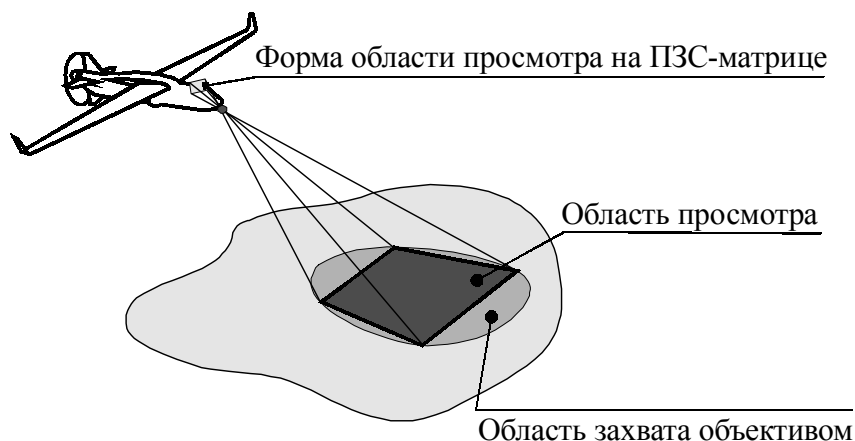


Рис. 1. Рабочие области оптической системы

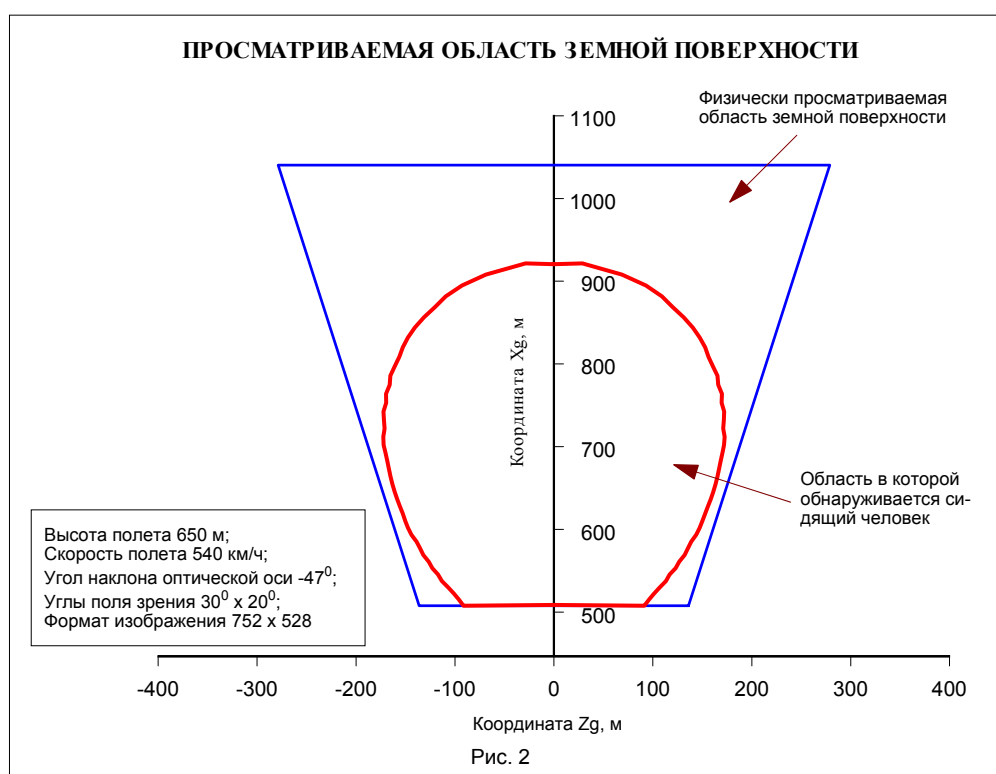
размерам и очертаниям объектов на земной поверхности. На рис.1 показаны области просмотра, формируемые объективом оптической системы. Размеры области просмотра зависят от высоты полета ЛА, углов поля зрения объектива и угла наклона оптической оси объектива.

На рис.2 показан вариант реализации оптико-электронного устройства. Видно, что форма физически просматриваемой области деформируется в фигуру близкую к трапеции. При расчетах, в первом приближении, можно использовать допущение что, ввиду малости отношения

$$\delta = \frac{l}{R_3} \gg 0,0003$$

где l – длина равная наибольшему линейному размеру области просмотра, R_3 – средний радиус земли,

искажениями из-за кривизны земной поверхности можно пренебречь и представлять ее плоскостью, совпадающей с некоторой срединной поверхностью.



Однако реальный профиль земной поверхности далек от плоскости и это сильно сказывается на эффективности использования оптико - электронных устройств. Учитывая, что бортовые оптико - электронные устройства применяются не для созерцания окружающей местности, а для выполнения конкретных функций, то целесообразно рассматривать степень пригодности оптической системы по возможности обнаружения типового объекта в типовых условиях применения БЛА. Например, на рис.2 показана область, в которой можно обнаружить сидящего человека, если он там есть, например, при проведении поисковой операции в условиях чрезвычайной ситуации. Примечательно, что граница этой области является совокупностью координат, в которых сидящий человек виден в качестве точки (пикселя).

Одним из основных параметров, позволяющих определить необходимую высоту полета в зависимости от возможностей установленной оптической системы, является коэффициент заполнения (рис.3):

$$K_{зан} = \frac{F_{оц}}{F},$$

где $F_{оц}$ – площадь области, в которой видна цель (объект), F – площадь области просмотра.

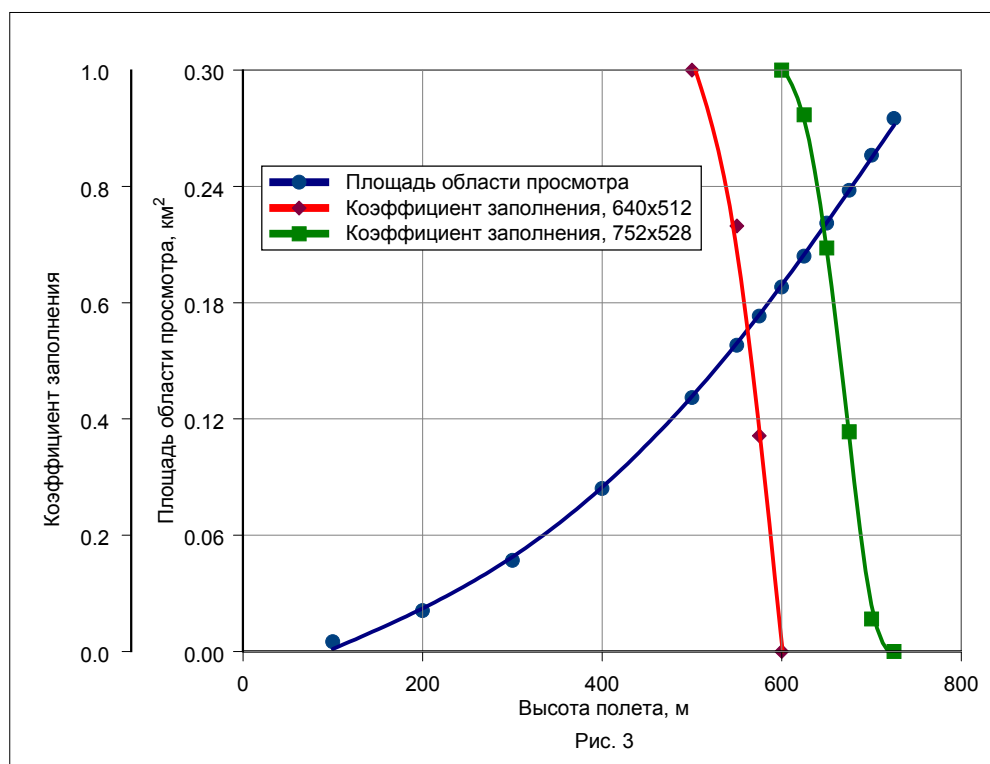


Рис. 3

Величина, обратная коэффициенту заполнения показывает, во сколько раз необходимо увеличить площадь области просмотра, чтобы искомый объект (цель) можно было увидеть на экране оптической системы. Размерность ПЗС - матрицы оказывает значительное влияние на разрешение оптического устройства (системы), поскольку размерность ПЗС - матрицы определяет уровень дискретизации изображения, поступающего с объектива. Чем выше размерность матрицы, тем выше уровень дискретизации и тем выше получается детализация изображения на экране системы. Следовательно, чтобы получить разрешение цифровой оптической системы близкое к оптическому разрешению объектива надо или иметь ПЗС – матрицу очень большой размерности или уменьшать углы поля зрения. Разрешение цифровой оптической системы (объектив - ПЗС-матрица – устройство вывода изображения (экран) в общем случае определяется как зависимость средней по экранному полю величины локальной разрешающей способности от группы параметров:

$$\bar{R} = f(L, \beta, \gamma, \varphi, M),$$

где L - наклонная дальность до точки на земной поверхности, β, γ, φ - соответственно угловое смещение рассматриваемой точки от оптической оси вправо-влево, вверх-вниз и угол наклона оптической оси в нормальной системе координат, M – размерность ПЗС – матрицы. Очевидно, что размерности ПЗС - матрицы и матрицы экрана должны быть близки, а точнее - размерность матрицы экрана должна быть не ниже, чем у ПЗС - матрицы.

Для оценки разрешающей способности цифровой оптической системы можно использовать формализацию характерных объектов, для поиска которых обычно используются БЛА при решении различных задач. На рис.4 приведен пример формализации объектов.

Для формализованного объекта «Человек» (Модель А, рис.4) на рис.5 приведена графическая иллюстрация соотношения линейных размеров проекций человека на картинную плоскость и локальной (т.е. в конкретном месте экрана, на который выводится изображение) разрешающей способности оптической системы. Линейные размеры проекций сведены в

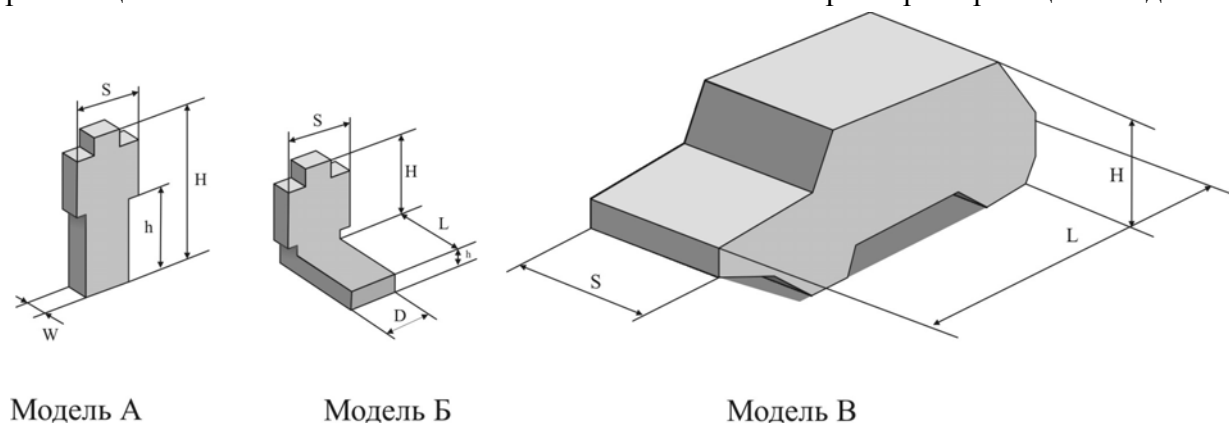


Рис. 4. Пример формализации объектов:
 Модель А - человек в полный рост;
 Модель Б - сидящий на земле человек;
 Модель В - автомобиль повышенной проходимости типа УАЗ-469

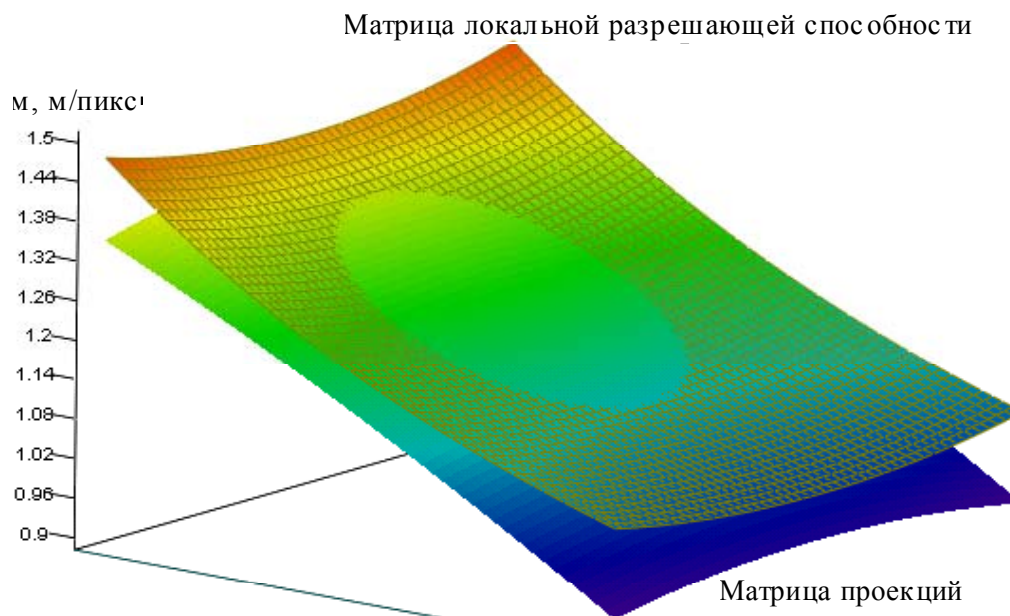


Рис.5. Соотношение линейных размеров проекций человека на картинную плоскость и локальной разрешающей способности оптической системы.

матрицу проекций и представлены в виде соответствующей поверхности, описывающей зависимость минимального размера проекции от номера элемента ПЗС – матрицы и имеет

размерность в метрах. Вторая поверхность является графическим отображением матрицы локальной разрешающей способности оптической системы и описывает зависимость площади физического пространства, приходящейся на один пиксель ПЗС – матрицы от номера элемента этой матрицы. Пересечение двух поверхностей: поверхности проекций объекта и поверхности местных разрешений, дает область, в которой можно увидеть искомый объект. Однако, это еще не говорит о том, что искомый объект можно будет идентифицировать. Для рассматриваемых условий (высота полета 1900 м, ПЗС-матрица 737x535, угол наклона оптической оси -52°) надо иметь оптическую систему с лучшим разрешением.

Поле зрения оптической системы является важной характеристикой, поскольку с его помощью обеспечивается не только получение необходимого изображения земной поверхности, но и решение задачи пространственной ориентации оператора, управляющего функциями беспилотного летательного аппарата.



Рис. 6

Для примера на рис. 6 приведен вариант съемки поверхности земли с высоты 45 м многообъективной оптической системой с последующей сшивкой отдельных изображений в единое. Каждый из объективов имел ПЗС - матрицу с 5,1 Мпикс. Для оптической системы получено поле зрения в $110^{\circ} \times 35^{\circ}$ с угловым разрешением $0,027^{\circ}$. На снимок наложено изображение, полученное с использованием однообъективной камеры с ПЗС - матрицей в 65536 (256 x 256) пикселей. Для сохранения исходного углового разрешения поле зрения пришлось уменьшить до $15^{\circ} \times 15^{\circ}$. Точка пересечения двух светлых линий показывает центр вынесенного изображения. Из соотношения двух изображений видно, что оптические системы, имеющие ПЗС - матрицы малой размерности, мало пригодны для решения задач наблюдения за земной поверхностью и детальной разведки, поскольку формируют эффект «замочной скважины». Т.е по такому изображению оператор, сидящий за много километров от места съемки, с большим трудом ориентируется на незнакомой местности и ему требуется большой объем дополнительной информации и время.

2. Применение оптических систем на гиросtabilизированных платформах

Оптические системы на гиросtabilизированных платформах постепенно начинают приобретать важное место в целевых нагрузках БЛА. Их сложность и насыщенность разнообразными функциями (сопровождение точки в пространстве, вычисление относительных координат точки в пространстве и т.п.) постоянно увеличиваются, растет и стоимость подобных устройств. Поэтому задача оценки эффективности применения оптических систем на гиросtabilизированных платформах становится актуальной. Тем более, что сложность задач, возлагаемых на беспилотную технику, постоянно растет.

Конструктивно оптические системы на гиросtabilизированных платформах выполняются таким образом, что объективу (или системе датчиков) обеспечивается поворот относительно двух осей связанной системы координат OX и OY с угловыми скоростями ω_x и ω_y . Предельные значения углов поворота объектива φ и ψ обычно выбираются исходя из назначения БЛА на который будет установлена оптическая система, но при этом, как правило, обеспечивается круговой обзор ($\psi = 0^\circ \dots 360^\circ$, или $-190^\circ \dots +190^\circ$) и сканирование по углу места около $110^\circ \dots 120^\circ$. Положительные значения угла φ обеспечивают просмотр и сопровождение

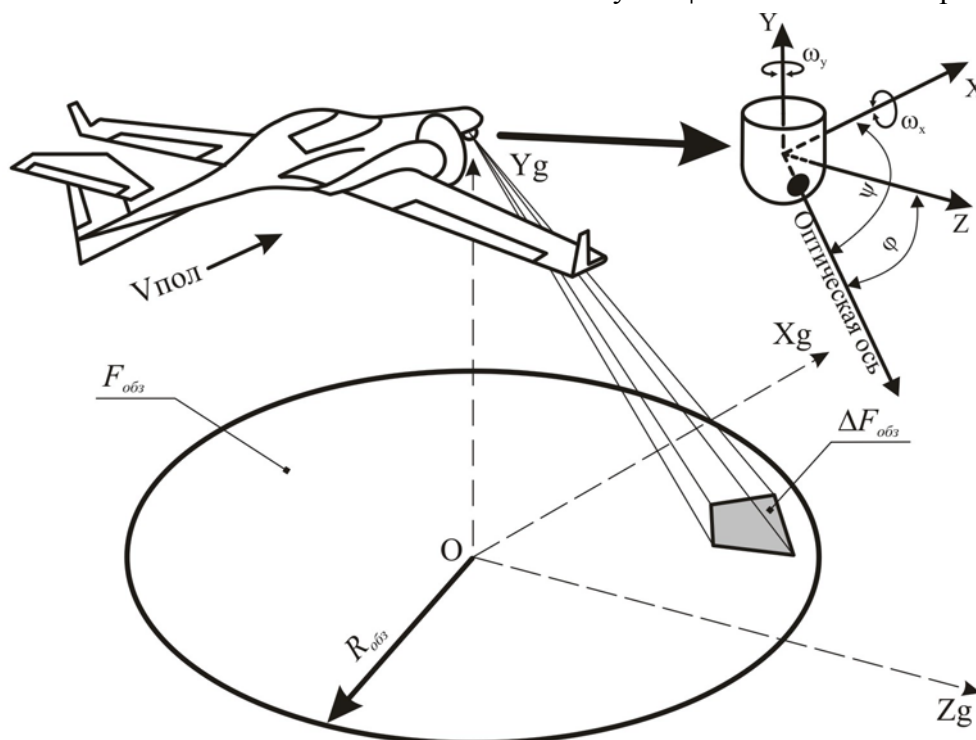


Рис. 7. Расчетная схема для определения эффективности использования оптических систем на гиросtabilизированных платформах

вождение объектов, находящихся выше оси ЛА. Такой широкий диапазон углов отклонения объектива обеспечивает устойчивое сопровождение объекта при его маневрировании или эволюциях ЛА с оптической системой.

Теоретически эффективность применения оптической системы, обеспечивающей круговой обзор, определяется условной вероятностью обнаружения объекта, находящегося в обозреваемой площади $F_{обз}$ (см. рис. 6). При определении этого показателя следует учитывать следующие условия:

- ЛА имеет скорость полета $V_{пол} > 0$;
- Угловая скорость поворота оптической оси объектива $\Omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}$ имеет ограничение. При имитационном моделировании системы «оптическое устройство – оператор» получено, что угловая скорость поворота оптической оси не может превышать величину $(0,06...0,07)/L$ (L - наклонная дальность до центра области просмотра в м).
- Угловая скорость поворота объектива зависит от скорости полета, поэтому необходимо учитывать величину $V_{пол}$ и значения угловых скоростей вращения ЛА относительно нормальной системы координат при совершении эволюций. В противном случае оператор на экране будет видеть смазанное изображение в котором ничего разобрать нельзя;
- В теоретических расчетах обозреваемая площадь имеет форму круга и принимается допущение, что земная поверхность по профилю гладкая и близкая к поверхности шара с радиусом равным радиусу Земли. В реальности земная поверхность существенно отличается от идеала и все показатели, полученные для идеальной поверхности, как правило, хуже.
- Искомый объект обычно находится там, где его никто не ищет.

Условная вероятность обнаружения объекта с заданными параметрами (например, одиноко стоящего человека) может быть определена по выражению:

$$P_{обн} = P_{но} \cdot P_{во} \cdot P_{ноо},$$

где $P_{но}$ – вероятность того, что в данный момент времени объект находится в пределах обозреваемой площади. Это тактический параметр, не зависящий от свойств и характеристик оптической системы. Поэтому в рамках рассматриваемого вопроса принят равным 1,0;

$P_{ноо}$ – вероятность попадания искомого объекта в площадь $F_{оц}$ (рис.2). Несмотря на то, что этот параметр зависит от стратегии поиска (т.е. закона изменения пространственного положения оптической оси объектива по времени) для ЛА имеющего $V_{пол} > 0$ эта зависимость, как будет показано ниже, не имеет никакого смысла². Поэтому значение $P_{ноо}$ может быть определено по выражению:

$$P_{ноо} = K_{зан} \cdot \frac{\Delta F_{обз}}{F_{обз}},$$

В случае $V_{пол} > 0$ надо учитывать, что обозреваемая площадь во времени будет иметь форму, отличающуюся от круга. Тогда

$$P_{ноо} = \frac{\Delta F_{обз}}{\pi R_{обз}^2 + 2 \cdot V_{пол} \cdot R_{обз}};$$

$P_{во}$ – вероятность мгновенного выделения объекта на фоне подстилающей поверхности. Зависит от объема информации, приходящейся на искомый объект. Если объем информации достаточен для принятия гипотезы³, утверждающей, что это именно тот объект, кото-

² Эта зависимость начинает проявляться только в условиях, когда ЛА не имеет поступательной скорости, т.е. для вертолета на режиме висения.

³ Идентификация объектов по их изображениям является сложной самостоятельной задачей и в рамках этой статьи не рассматривается.

рый ищется, то $P_{во}=1,0$. Для простоты и наглядности принимается условие: если проекция объекта занимает 1 пиксел и более на экране оператора, то $P_{во}=1,0$.

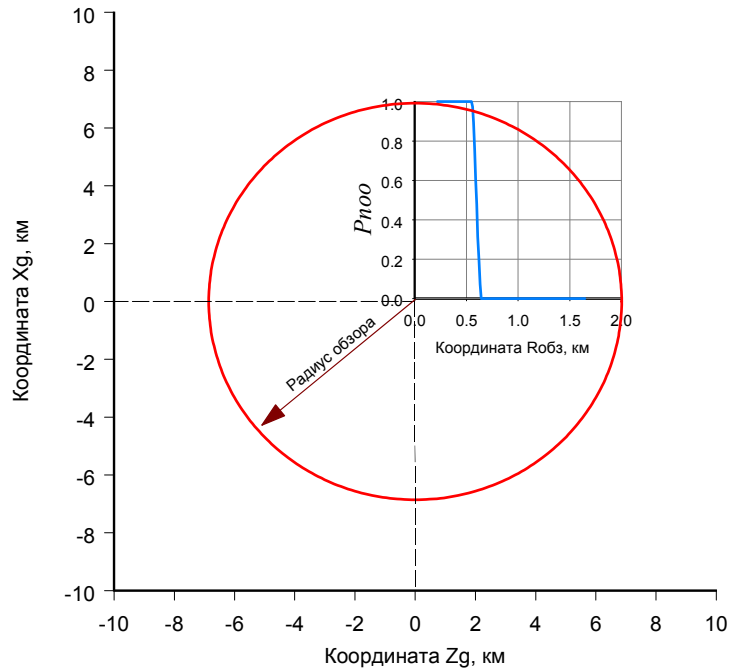


Рис. 8. Площадь обзора и закон изменения $P_{во}$ по радиусу обзора

Рис. 8 иллюстрирует изменение $P_{во}$ по радиусу обзора оптической системы для заданного искомого объекта при условии, что скорость полета ЛА равна 0. Для автомобиля типа «Джип» граница потери объекта отодвинется к 4 км по радиусу обзора, а характер зависимости будет почти таким же.

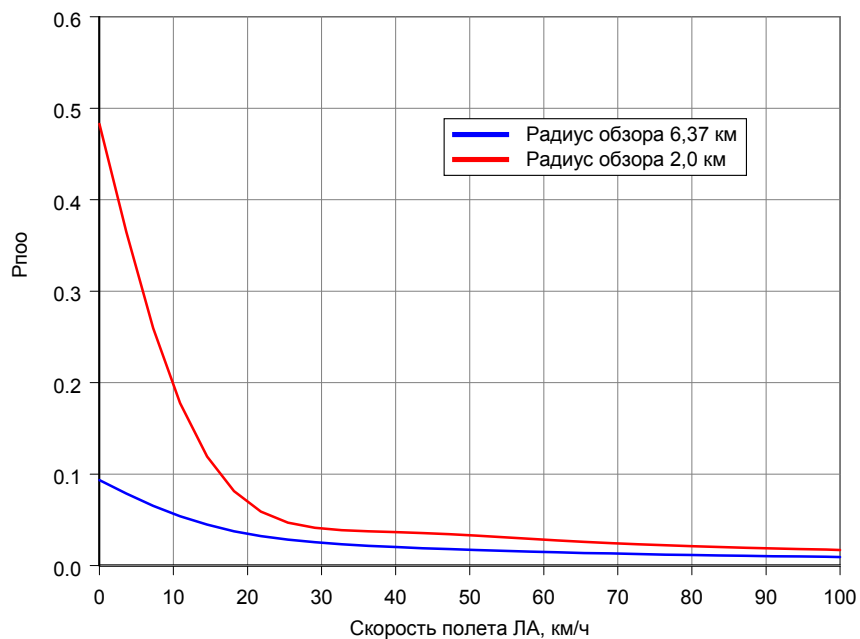


Рис. 9. Взаимосвязь скорости полета ЛА и радиуса обзора с $P_{во}$

Ограничение угловой скорости поворота оптической оси объектива существенно ограничивает потенциальные возможности, заложенные в оптико-электронное устройство на гиросtabilизированной платформе. Данные на рис.9 показывают, что уже при скорости полета в 30 км/ч подобное устройство становится бесполезным: оно не реализует свои возможности, вероятность попадания искомого объекта в площадь F_{oc} едва достигает величины 0,05. Увеличение радиуса обзора резко ограничивает вероятность попадания искомого объекта в площадь F_{oc} . В этом отношении оптические системы на основе устройств, жестко связанных с конструкцией ЛА (авиационные фотоаппараты, ТВ-камеры смотрящие вниз и т.п.) имеют значительное преимущество: у них $P_{но}$ достигает значений 0,95...0,98.

Исходя из вышеприведенных данных можно сделать несколько выводов:

- Выбор оптической системы для БЛА должен быть очень тщательно продуман исходя из назначения беспилотной авиационной системы;
- Наличие на борту БЛА даже самой совершенной с технической точки зрения оптической системы еще не гарантирует ее успешное применение на практике;
- Чем больше размеры области поиска на земной поверхности, тем сложнее использовать малые БЛА и микро - БЛА для решения практических задач: их эффективность в этом случае не выдерживает никакой критики.
- Многочисленные статьи в прессе [8] о высокой эффективности БЛА с оптическими системами на гиросtabilизированных платформах свидетельствуют только о грамотном выборе тактических условий применения ЛА (т.е. $P_{но} = 1$). БЛА выводится в известную область земной поверхности с известными координатами искомого объекта другими способами, при этом оптическая система играет второстепенную роль.

Литература

1. И.С.Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А.Спектор. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. - 168.
2. Э. Прэтт. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. – Кн. 1 -312 с., ил.
3. А.В. Оппенгеймер, Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ./ Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с., ил.
4. В.Г. Микеладзе, В.М. Титов. Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и ракет: Справочник. – 2-е изд., доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 144 с., ил.
5. Jane's Defence Equipment Library, 2001.
6. Системы оптического наблюдения СОН. Малогабаритные турельные и гиросtabilизированные круглосуточные оптико-электронные системы для применения на объектах гражданского назначения. www.uomz.ru/production/son.htm
7. С.Н. Безрядин. Основной недостаток сенсоров современных цифровых камер. 05.11.2003 г., www.zenit.istra.ru/articles/colour (05.2005)
8. БЕН ЛАДЕН ОСТАЛСЯ БЕЗ СЫНА И ОХРАНЫ. НГ-Новости, 05.11.2002. www.news.ng.ru/2002/11/05/1036485233.html