

## Принципы разработки оптических систем панорамного обзора для беспилотных аппаратов

*П. А. Кайсин<sup>1</sup>\*, В. С. Ефремов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: Kaysin-PA2021@sgugit.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальность разработки современных оптических систем панорамного обзора для беспилотных аппаратов. Приведены примеры основных современных систем, устанавливаемых на беспилотные аппараты. Рассмотрены достоинства и недостатки различных типов систем панорамного обзора. Определены основные принципы и подходы к разработке современных объективов панорамного обзора. Предложен подход в разработке панорамных систем обзора для беспилотных аппаратов, позволяющий решить основные недостатки современных систем.

**Ключевые слова:** системы панорамного обзора, видеокамеры для панорамного обзора, беспилотные аппараты, двухканальная система, визуальный и тепловизионный диапазоны спектра, навигационная видеокамера

## Principles of development of panoramic optical systems for unmanned vehicles

*P. A. Kaisin<sup>1</sup>\*, V. S. Efremov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: Kaysin-PA2021@sgugit.ru

**Annotation.** The relevance of the development of modern panoramic view optical systems for unmanned vehicles has been discussed. Examples of the main modern systems installed on unmanned vehicles were given. The advantages and disadvantages of various types of panoramic view systems were considered. The basic principles and approaches to the development of modern panoramic view lenses were determined. An approach of the development of panoramic vision systems for unmanned vehicles, which allows solving the main disadvantages of modern optical systems, was proposed.

**Keywords:** panoramic viewing systems, video cameras for panoramic viewing, unmanned vehicles, two-channel system, visual and thermal imaging spectrum ranges, navigation video camera

### *Введение*

Актуальность разработки оптических систем панорамного обзора для беспилотных аппаратов (БПА) определяется:

- увеличением спроса на навигационные системы БПА для целей тактической разведки и мониторинга окружающей обстановки;
- усовершенствованием технологий, позволяющих создавать системы панорамного обзора более компактными.

В данной статье анализируются методы разработки оптических систем панорамного обзора для БПА.

Главная задача данной работы: определить требования для камер БПА и предложить принципы построения и методы реализации на современной элементной базе обзорно-панорамных оптико-электронных систем с панорамной оптикой, решающих задачи формирования и анализа панорамного изображения пространства в области близкой к полусфере.

### *Методы и материалы*

Для получения результатов использовались системный подход, поиск, обзор и анализ тематической информации, доступной в сети Интернет и профильной технической литературе.

### *Результаты и обсуждение*

В последние годы для целей тактической разведки и мониторинга окружающей обстановки применяют БПА. Беспилотные мини-аппараты, применяемые в разных средах (на земле или воде, в воздухе или под водой) могут быть оснащены двумя типами видеокамер: для целей навигации и мониторинга среды.

Такие камеры могут производить обзор с различными целями: обнаружение объектов, целеуказание, сопровождение, мониторинг и другое.

Оптико-электронные системы, осуществляющие обзор пространства в пределах, близких к полусфере, будем называть обзорно-панорамными оптико-электронными системами.

Можно выделить три наиболее общих подхода к созданию таких систем. Во-первых, это системы, в которых непрерывный обзор пространства осуществляется за счет сканирования механическим приводом. Мгновенное угловое поле сканирующих панорамных оптико-электронных систем сравнительно мало и соответствует элементу разложения поля обзора (пикселю) [1].

Другим подходом к построению обзорно-панорамных оптико-электронных систем является создание многоканальных устройств, в которых широкое угловое поле достигается состыковкой сравнительно узкопольных систем.

Такие системы будем называть обзорно-панорамными оптико-электронными системами с составным угловым полем.

Третий путь – создание обзорно-панорамной оптико-электронной системы на базе панорамной оптики. Эти системы будем называть обзорно-панорамными оптико-электронными системами с панорамной оптикой. Именно эти, обзорно-панорамные оптико-электронные системы являются предметом рассмотрения в данной статье.

Разработка оптической системы, которая имеет способность обзирать весь горизонт, берет свое начало в 1861 году. Тогда был создан концентрический объектив Саттона. Позднее, в конце 19 века, появилась разработка кольцевой отражающей линзы Манжена. Эти разработки дали толчок дальнейшему развитию подобных оптических систем - с тех пор их было изобретено свыше 20. Несмотря на высокую стоимость, технологическую сложность и ограниченность в использовании, изобретение многоэлементных приёмников излучения позволило разработать оптико-электронные системы, дающих возможность охватывать про-

странство в широкоугольном формате, а также преобразовывать изображения с привычной ориентацией снимаемых объектов [2].

Объективы, используемые для навигации, должны иметь большой угол поля зрения или быть панорамными для обзора верхней полусферы (при работе на земле или воде) и нижней полусферы (при работе в воздухе или под водой) окружающей среды.

Наиболее близкими по применению и параметрам являются объективы видеокамер купольного типа, некоторые значения параметров, которых приведены в таб. 1 [3].

Таблица 1

Основные параметры объективов и матриц купольных видеокамер

Параметр	Видеокамера		
	GTI-SD204VIR	ACV-902MPXIP	VCI-252-05
Фокусное расстояние $f'$ , мм	2,8	2,8	1,42
Относительное отверстие $D/f'$	1:2,9	1:2,8	1:1,6
Поле зрения $2\omega$ , град×град	180×180	180×180	180×180
Разрешение, Мп, (пикселей)	2 (2304×1536)	2 (2048×1536)	5 (2592×1944)
Размер матрицы по диагонали $2y'$ , мм	5,3	5,7	5,9
Размер пиксела по диагонали $\Delta y'$ , мкм	3,1	3,5	2,0
Угловое пространственное разрешение $\Delta\omega$ , мрад	3,0	3,0	1,4

Основным недостатком этих видеокамер являются большие габаритные размеры и масса, не позволяющие установить их на носители маленького размера, сопоставимых с небольшими птицами или же крупными насекомыми [4].

К примерам компактных вариантов панорамных камер можно отнести камеру The 360cam, приведённую на рис. 1 [5]. Данная камера оснащена тремя объективами типа «рыбий глаз», имеющими угол обзора 185 ° каждая. Общий угол поля зрения равен 360° x 300°, а в совокупности с габаритными размерами 6,9 x 6,9 см и массой всего 180 г данная камера могла бы стать отличной навигационной камерой для БПА, но все вычислительные операции для оптимизации изображения и приведении его к привычному виду для человеческого глаза производятся во время постобработки при помощи программного обеспечения, что делает использование данного типа камер для целей разведки и мониторинга окружающей обстановки в реальном времени невозможным.

Ещё одним примером камер, используемых для систем навигации БПА является камеры, установленные на дроне PD-100 Black Hornet (Чёрный шершень), представленном на рис. 2 [6]. Установленные на нем видеокамеры не являются панорамными и могут обеспечить обзор не более 120°. Преимуществом данного

дрона является его компактность. Однако имеются и недостатки, например, невозможность получения панорамного обзора местности для целей навигации в разных диапазонах спектра.



Рис. 1. Внешний вид панорамной камеры The 360cam



Рис. 2. Разведывательный дрон PD-100 Black Hornet

Для решения вышеуказанных проблем можно использовать панорамную двух спектральную зеркально-линзовую систему (рис. 3), разработанную Егоренко М.П., Ефремов В.С по патенту [7].

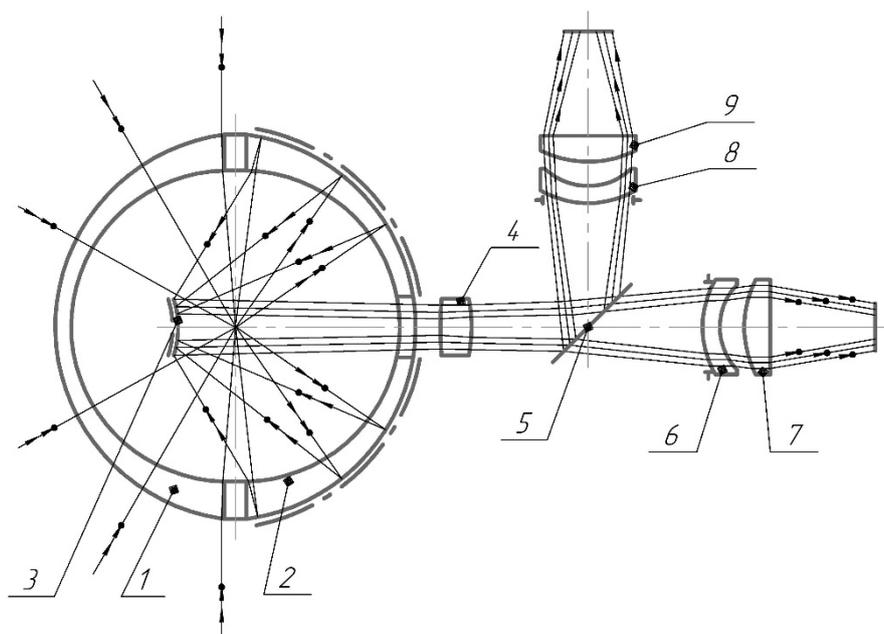


Рис. 3. Оптическая схема панорамного двух диапазонного зеркально-линзового объектива:

1 – защитное стекло; 2, 3 – зеркала; 4 – линза; 5 – спектроразделительное зеркало; 6, 7 – линзовая система VIS (видимый диапазон) диапазона спектра; 8, 9 – линзовая система MWIR (средний инфракрасный диапазон) диапазона спектра

Системы данного типа позволяют разработать единую оптическую систему для нескольких диапазонов спектра и возможность минимизировать массогабаритные характеристики многоканальной оптической аппаратуры за счет замены двух и более оптических устройств одной многоканальной зеркально-линзовой системой с зеркалом Манжена [8].

Однако, приёмники излучения, характеристики которых приведены в открытых информационных источниках имеют большие габаритные размеры, что не позволяет их разместить на малогабаритном носителе, поэтому для соблюдения всех требований необходимо изготовление специальных ФПМ (фотоприёмник плоско-матричный) частного применения гораздо меньших размеров конкретно для беспилотных мини-аппаратов, например, с диагональю  $2y' = 4-5$  мм [9].

Для оптических деталей могут быть выбраны материалы прозрачные в видимом и ИК диапазонах спектра. Такими материалами могут быть: фтористый магний  $MgF_2$ , фтористый кальций  $CaF_2$  [10]. Оптическая система имеет асферические поверхности: внутреннюю поверхность зеркала 2 и поверхность зеркала 3. Асферизация усложняет изготовление зеркал, но позволяет уменьшить число преломляющих поверхностей, что повышает светопропускание системы и уменьшает массу оптических деталей [11].

Таким образом системы данного типа совмещают в себе все необходимые характеристики для выполнения навигационных задач в нескольких диапазонах спектра и могут быть установлены на компактных носителях, делая их актуальными как для гражданского, так и для военного применения.

## Заключение

Объектив для навигационных целей должен обладать следующими параметрами: большим углом поля зрения (до  $180^\circ$ ) или обеспечивать панорамное зрение [12–14], иметь невысокие массогабаритные характеристики за счёт использования лёгких материалов, многоканальной зеркально-линзовой системы с зеркалом Манжена.

Современная технологическая и элементная база позволяет системам такого типа работать для навигационных целей в нескольких диапазонах спектра, с целью обнаружения объектов с высоты более 30 м над уровнем земли.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ленгауэр Г.Г., Михельсон Н.Н., Никанорова И.Н. Теория сверхширокоугольной камеры Г.Г. Ленгауэра // Изв. ГАО АН СССР. 1989. № 206. С. 75-79.
2. Русинов М.М., Грамматин А.П., Иванов П.Д., Андреев Л.Н., Агальцова Н.А., Ишанин Г.Г., Василевский О.Н., Родионов С.А. / под общ. ред. Русинова М.М. Вычислительная оптика: справочник. Изд. 2-е, М.: URSS, 2008. 424 с.
3. Каталог продукции ООО Корпорации «Груммант» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.grumant.ru> (дата обращения 04.04.2022).
4. Canzek L. Neue Richtung in der Entwicklung der katadioptrischen Objektiv // Optica acta. 1979. №2. P. 279–287. DOI: 10.1080/713819973.
5. Новоситной портал Hongkiat [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hongkiat.com/blog/360cam-first-hd-360-camera/> (дата обращения 09.05.2022)
6. PD-100 Black Hornet Nano Unmanned Air Vehicle [Электронный ресурс]. URL: <http://www.army-technology.com/projects/pd100-black-hornet-nano/> (дата обращения 21.12.2020).
7. Панорамная двухспектральная зеркально-линзовая система: Пат. 2728321. Россия, МПК, G 02B 17/08, G 03B 37/06, G 02B 13/06. Егоренко М.П., Ефремов В.С.; Сиб. гос. ун-т геосистем и техн. № 2020100496; Заявл. 12.02.2020; Оpubл. 29.07.2020. Бюл. № 22.
8. Marina P. Egorenko and Viktor S. Efremov «Mirror-lens camera system for underwater drones», Proc. SPIE 11560, 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115602O (12 November 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2573572>
9. НПФ «Фотоника» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.npk-photonica.ru/> (дата обращения 01.05.2022).
10. Егоренко М.П., Ефремов В.С. Выбор оптических материалов для многоканальных зеркально-линзовых систем с зеркалами Манжена видеокамер беспилотных миниаппаратов // Оптический журнал. 2020. Т. 87. № 12. С. 18–31.
11. Егоренко М.П., Ефремов В.С. Хроматические свойства зеркала Манжена в нескольких диапазонах спектра // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 6. С. 53–57.
12. Прудников Н.В., Шлишевский В.Б. Панорамные оптико-электронные устройства кругового и секторного обзора // Вест. СГУГиТ. 2016. Вып. 1(33). С. 148-161.
13. Соломатин В. Панорамная видеокамера // Фотоника. 2009. № 4. С. 26-29.
14. Панорамная зеркально-линзовая система с видеокамерой: Пат. 2335003. Россия, G02B 17/08 (2006.01), G03B 37/06 (2006.01). Колючкин В.Я., Тимашова Л.Н., Колобов К.В., Князев А.А.; ООО «Лаборатория трехмерного зрения». № 2006133677/28; Заявл. 27.03.2008; Оpubл. 27.09.2008. Бюл. № 27.

© П. А. Кайсин, В. С. Ефремов, 2022