

УДК 629.7.052

DOI: 10.31799/978-5-8088-1557-5-2021-117-122

**А. А. Сенцов\***

кандидат технических наук, доцент

**С. А. Иванов\*\***

кандидат технических наук, главный специалист

**С. А. Ненашев\***

студент

\*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

\*\*ОАО «ЦНПО «Ленинец»

## ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ УСТРОЙСТВ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ МОНИТОРИНГЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Рассматриваются актуальные вопросы применения автономных беспилотных летательных аппаратов для экологического мониторинга земной и морской поверхностей при помощи комплексирования радиолокационной информации. Дана классификация современных беспилотных летательных аппаратов по типам, а также рассматриваются решаемые ими задачи в зависимости от технических характеристик и выполняемых функций. Особое внимание уделено задачам экологического мониторинга, определены технические требования к отдельным системам беспилотных летательных аппаратов: энергообеспечения, беспроводной системы связи и ее шифрации, навигации, аппаратуры мониторинга подповерхностных слоев для реализации бортового беспилотного летательного комплекса оперативного и экологического мониторинга. Предложен используемый на практике вариант построения гексакоптера с возможностью применения полезной нагрузки и технических средств для мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в частности, при сборе информации о состоянии потенциально опасных объектов инфраструктуры.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, автономное наблюдение, комплексирование информации, навигация, мониторинг состояния окружающей среды.

**A. A. Sentsov\***

PhD Sc. Tech., Associate Professor

**S. A. Ivanov \*\***

PhD Sc. Tech., Associate Professor, Chief Specialist

**S. A. Nenashev\***

Student

\*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

\*\*JSC «CSPA Leninetz»

## POSSIBILITIES FOR INTEGRATION OF DEVICES AS PART OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DURING OPERATIONAL MONITORING OF THE EARTH'S SURFACE

*Topical issues of creation and application of autonomous unmanned aerial vehicles for environmental monitoring of land and sea surfaces by means of radar information aggregation are considered. The classification of modern unmanned aerial vehicles by types is given, and also the tasks solved by them depending on technical characteristics and performed functions are considered. Special attention is paid to the tasks of environmental monitoring, the technical requirements for individual systems of unmanned aerial vehicles are defined: power supply, wireless communication system and its encryption, navigation, monitoring equipment of subsurface layers for the implementation of an onboard unmanned aerial system of environmental monitoring. A practical variant of the hexacopter construction with the possibility of using the payload and technical means for monitoring natural and man-made emergencies, in particular when collecting information on the state of potentially dangerous infrastructure objects, is proposed.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, autonomous surveillance, information aggregation, navigation, monitoring the state of the environment.

### Введение

В настоящее время сфера применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стреми-

тельно расширяется и включает в себя поиск объектов в зонах бедствий, картографирование земной поверхности [1], [2], оценку состояния сельскохозяйственных культур, ледников, эко-

логический мониторинг, сбор информации для геологоразведки, обнаружение пожаров и т. п. Особо актуально применение БПЛА для оперативной геологической и экологической разведки в труднодоступных местах, а также в условиях, представляющих опасность для здоровья и жизни людей. Например, для определения состояния поверхности и картографирования труднодоступных участков местности в горных ущельях, а также районов, подверженных химическому загрязнению, и объектов с повышенным радиационным фоном.

Использование малогабаритных РЛС в аппаратуре малых летательных аппаратов (квадро-, гекса-, октокоптеры) позволит в автоматическом режиме обследовать широкие площади зон бедствий, указывая координаты физических объектов, где могут находиться пострадавшие люди, что поможет спасателям оказать своевременную помощь.

Особенностью систем, базирующихся на БПЛА, является ограниченность энергетических, габаритных и весовых ресурсов, что требует разработки специальных алгоритмов обзора исследуемых зон и комплексирования информации от бортовых локационных устройств, в том числе многопозиционных систем [3]–[5]. Кроме того, применительно к радиоканалам требуется исследовать специализированные алгоритмы сжатия информации [6], [7] без существенной потери и кодированной передачи [8]–[10] ее как между носителями локационной аппаратуры, так и в наземный пункт обработки и управления, что требуется для реализации режима реального времени.

Основные задачи оперативного экологического мониторинга, решаемые при помощи устройств, базирующихся на БПЛА:

- экологический мониторинг состояния окружающей среды;
- обнаружение зон и объемов протечек трубопроводов, находящихся как под землей, так и над землей, а также оценка их технического состояния и выявление дефектов;
- оценка состояния сельскохозяйственных угодий, а также лесных массивов.
- обнаружение очагов пожаров, состояния горных пород, представляющих угрозу экзогенных процессов (сели, оползни, обвалы и др.);
- поиск людей в зоне бедствий (кораблекрушение, техногенная катастрофа, землетрясение, наводнение, оползни и т. п.);
- осуществление фото- и видеосъемки с целью наблюдения за инфраструктурой и порядком и т. п.;
- патрулирование границ и обнаружение движущихся объектов в охраняемой зоне: опре-

деление положения и скорости движущихся объектов;

- контроль аварийных и нештатных ситуаций на сложных технических объектах и объектах инфраструктуры, координация действий наземных групп;
- мониторинг выполнения строительных и ремонтных работ;
- обнаружения физических объектов и пустот под завалами, аппаратурой использующих сверхширокополосные сигналы;
- определение приоритетности по степени опасности при выборе зон для первоочередного мониторинга [11].

Выполнение вышеуказанных задач возможно только при использовании малогабаритных устройств мониторинга, однако эти локационные устройства не всегда удовлетворяют требованиям грузоподъемности малых летательных аппаратов. Поэтому необходимо рассмотреть основные аспекты, касающиеся возможностей применения портативных локационных устройств мониторинга при размещении их на группе БПЛА с учетом особенностей интеграции этих устройств в радиооптический комплекс.

В табл. 1 и в работах [12]–[14] приведены основные характеристики беспилотных летательных аппаратов по типам.

В настоящее время существуют различные варианты классификации БПЛА: самолетного (рис. 1) и вертолетного типа (рис. 2), тяжелые и легкие, работающие на жидком топливе и на электричестве, большой и малой дальности (см. табл. 1). Выбор того или иного типа летательного аппарата зависит от характеристики объекта исследования, потребности в передаче требуемого объема и типа данных, необходимости режима реального времени или записи на съемный носитель, определяемых поставленной задачей.

Технические характеристики БПЛА вертолетного типа представлены в табл. 2.

Технические характеристики БПЛА самолетного типа представлены в табл. 3.

Исходя из данных табл. 1–3 для задач оперативного мониторинга целесообразно использовать БПЛА вертолетного типа, на которых размещаются локационные устройства из состава многопозиционной системы, поскольку малогабаритные локационные устройства имеют не всегда достаточные характеристики для осуществления высокоточного картографирования.

В работах [16]–[19] были проанализированы особенности реализации основных блоков БПЛА (энергообеспечения, системы связи с шифрацией, системы навигации), а также со-

Таблица 1

**Основные характеристики беспилотных летательных аппаратов [12]–[14]**

Характеристика	БПЛА самолетного типа большой дальности	БПЛА самолетного типа средней дальности	БПЛА вертолетного типа малой дальности
Дальность действия*	50–70 км	15–25 км	2–5 км
Продолжительность полета*	4–5 ч	1–2,5 ч	40–60 мин
Скорость	65–130 км/ч	65–130 км/ч	30–50 км/ч
Взлетная масса	8–10,5 кг	2,5–6,5 кг	1,5–8 кг
Масса целевой нагрузки	1,5–2 кг	0,3–1 кг	0,3–2 кг
Взлет	Пневматическая катапульта	Эластичная катапульта	Вертикальный
Посадка	Паращют, в сеть	Паращют, в сеть	Вертикальная
Размах крыла	2–3 м	1–2 м	0,6–1,5 м
Стоимость	1,7–4,5 млн руб.	1,2–3,3 млн руб.	0,9–2,8 млн руб.
*Характеристики можно улучшить с помощью дополнительного оборудования			

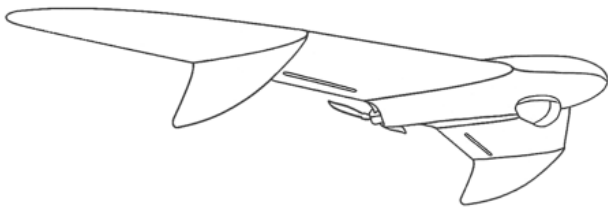


Рис. 1. БПЛА самолетного типа

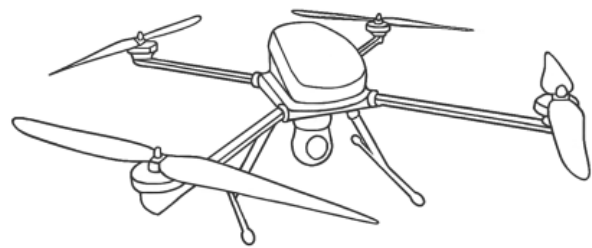


Рис. 2. БПЛА вертолетного типа

Таблица 2

**Технические характеристики БПЛА вертолетного типа [12]–[15]**

Тип БПЛА	Вертолетного типа 6-моторный (гексакоптер)
Подъемная масса полезной нагрузки	4 кг
Собственная масса	4,5 кг
Размеры	900 мм x 900 мм x 600 мм
Скорость полета	0–42 км/ч (0 м/с–12 м/с)
Скорость ветра	до 12 м/с
Время полета без нагрузки порядка	25 мин. (в зависимости от батареи)
Максимальная протяженность маршрута	10 км
Батарея (съемная, весом 1,2 кг)	22, 2 В, 10Ач
Контроль за БПЛА на дальности	до 3 км
Взлет/посадка	ручной и автоматический режимы
Тип двигателя	электрический
Минимальная высота полета	0,5 м
Максимальная высота полета	3500 м
Диапазон рабочих температур	–30–50° С
Время подготовки к взлету	не более 7 мин.

Таблица 3

Технические характеристики БПЛА самолетного типа [12]–[15]

S-350	
Размах крыльев	3,5 м
Длина	0,8 м
Взлетный вес	10 кг
Двигатель	Электрический
Скорость	65–130 км/ч
Дальность связи	90 км
Время полета	до 5 ч
Полезная нагрузка	Стабилизированная видеокамера Стабилизированный тепловизор Фотокамера

став и функции наземного пункта обработки и управления для оценки требуемых технических характеристик бортового беспилотного летательного комплекса.

Шестимоторный беспилотный летательный аппарат вертолетного типа (гексакоптер) представлен на рис. 3.

Для решения задач оперативного экологического мониторинга требуется оборудование специального назначения (радиолокаторы, оптические системы, тепловизоры). Зачастую такое оборудование довольно громоздко по весу и габаритам, поэтому не может быть использовано в качестве полезной нагрузки БПЛА [20]. В качестве такого оборудования для решения заявленных задач могут выступать сверхширокополосный радиолокатор (СШП-радар), малогабаритная радиолокационная станция (РЛС), оптическая система локации.



Рис. 3. Шестимоторный БПЛА вертолетного типа

СШП-радар предназначен для исследования подповерхностных слоев, в частности, исследование структур твердых сред (грунт, лед, песок). Принцип его действия основан на отправке короткого импульса в интересующую точку и получении ответного сигнала, содержащего информацию о структуре исследуемых слоев, а также о глубине, размерах и диэлектрических характеристиках физических объектов, находящихся внутри исследуемой области [19].

Малогабаритная РЛС с электронным управлением положения луча, выполненная по технологии каскадируемых активных фазированных волноводно-щелевых антенных решеток (КАФВ-ЩАР) [21], обеспечивает решение в режиме реального времени следующих задач:

- зондирование окружающего пространства фазоманипулированными импульсами в заданной зоне обзора;
- сжатие принятых сигналов по длительности (дальности);
- обнаружение радиолокационных целей;
- селекцию движущихся целей;
- автоматическое измерение на каждый обзор отсчетов координат и радиальной скорости обнаруженных точечных целей;
- формирование радиолокационной картины совместно с электронной картой местности;
- передачу данных и удаленное управление РЛС.

Методы обработки радиолокационного сигнала основаны на различии свойств полезного сигнала и помехи. Для обеспечения оптимальной обработки принятого сигнала требуется снизить собственные шумы приемника, а также учесть влияние среды на распространения радиоволн, что влечет за собой необходимость использования методов, призванных улучшить соотношение сигнал/помеха, таких как:

- метод накопления;
- частотная фильтрация;
- корреляционный метод;
- согласованная фильтрация;
- нелинейная фильтрация.

Применение в РЛС сложных сигналов позволяет увеличить дальность действия при условии ограниченной величины мощности передатчика. Для обеспечения требуемой разрешающей способности и помехоустойчивости выбираются характеристики зондирующего сигнала [8], [9], [22]. Следующие сложные виды модуляции используют для минимизации уровня боковых лепестков в требуемой плоскости:

- частотно-модулированные сигналы;
- многочастотные сигналы;
- фазоманипулированные сигналы;

- сигналы с кодовой фазовой модуляцией;
- дискретные частотные сигналы;
- составные сигналы с кодовой частотной;
- комбинация нескольких видов модуляции.

Благодаря высокому уровню унификации узлов и деталей, оригинальной системе цифровой обработки сигналов, а также применению антенн с электронным сканированием современная технология позволяет проектировать высокоинформативные малогабаритные РЛС с различными техническими характеристиками в зависимости от требуемых задач.

Оптическая локационная система представляет собой камеру высокого разрешения с поворотным устройством и стабилизатором, сопряженную с GPS/GLONASS-модулем.

Ключевым преимуществом интеграции разнотипного оборудования в единый комплекс на базе нескольких БПЛА является возможность автономного исследования зон бедствий и труднодоступных мест в целях экологического мониторинга и предупреждения чрезвычайных ситуаций. Комплексная обработка информации от этих устройств предполагает наличие на наземном пункте управления высокоскоростного вычислителя, представленного на рис. 4. В частности, возможно применение выдвижного дисплея для графического отображения информации и задания точной регулировки настроек.

Суммарный вес конструкции малогабаритных устройств локации на БПЛА должен составлять не более 3 кг. Важным фактором при создании единого комплекса оперативного мониторинга является сочетание информации различного типа (радиолокационных данных, видеоданных и др.), дополняющей друг друга и уменьшающей меру неопределенности по отношению к поставленной задаче.

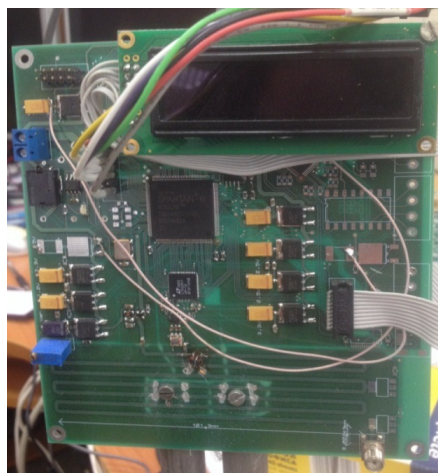


Рис. 4. Плата вычислителя для обработки информации с локационных устройств

## Выводы

Приведенный анализ достоинств и ограничений рассматриваемых систем подтверждает целесообразность их применения. Ключевым моментом в реализации рассмотренных систем являются алгоритмы совмещения полученных данных в единое информационное поле.

Бортовой беспилотный многопозиционный летательный комплекс обладает большим потенциалом при решении задач, связанных с поиском людей и объектов в зоне бедствий и экологических катастроф. Применение комплекса автономного мониторинга на базе БПЛА с мультисенсорной системой локационных устройств позволяет выполнять экологический мониторинг, наблюдение за опасными объектами (лесные пожары, зоны техногенных и естественных ЧС), обнаружение людей и физических объектов при обзоре морских и прибрежных зон. Ключевой особенностью данного беспилотного многопозиционного и мультисенсорного комплекса является использование алгоритмов совместной обработки информации, автономность полета, рациональное соотношение грузоподъемности и длительности полета, а также возможность гибкого перенастраивания оборудования и изменения состава комплекса.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 19-79-00303.

## Библиографический список

1. Подоплекин Ю. Ф., Шепета Д. А., Ненасhev В. А. Моделирование входных сигналов бортовой РЛС, обусловленных отражениями зондирующего сигнала от подстилающих поверхностей земли и моря // Морской вестник. 2016. № 4 (60). С. 69–71.
2. Nenashev V. Modeling algorithm for SAR image based on fluctuations of echo signal of the Earth's surface // Proc. of SPIE Remote Sensing. Toulouse, France. 2015. Vol. 9642. P. 96420X-1–96420X-8.
3. Программа для расчета взаимного расположения двухпозиционной РЛС и наблюдаемых объектов в полярной и декартовой системах координат / В. А. Ненасhev, А. П. Шепета, Е. К. Григорьев и др. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018661851, 20.09.2018. Заявка № 2018614572 от 08.05.2018.
4. Nenashev V., Sentsov A., Shepeta A. The Problem of Determination of Coordinates of Unmanned Aerial Vehicles Using a Two-Position System Ground Radar // 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). St. Petersburg, 2018. P. 1–5.

5. Features of information processing in the on-board two-position small-sized radar based on UAVs, SPIE Future Sensing Technologies / V. Nenashev, A. Kryachko, A. Shepeta, D. Burylev. Tokyo, Japan, 2019. P. 111970X-1–111970X-7.
6. *Kapranova E., Nenashev V., Sergeev M.* Compression and coding of images for satellite systems of Earth remote sensing based on quasi-orthogonal matrices // Proc. of SPIE, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIV. Berlin, Germany. 2018. Vol. 10789. P. 1078923-1–1078923-6.
7. Distributed matrix methods of compression, masking and noise-resistant image encoding in a high-speed network of information exchange, information processing and aggregation, SPIE Future Sensing Technologies / E. Kapranova, V. Nenashev, A. Sergeev et al. Tokyo, Japan, 2019. P. 111970T-1–111970T-7.
8. *Ненашев В. А., Сергеев А. М., Капранова Е. А.* Эксперименты по замене ДКП квазиортогональным преобразованием в алгоритмах сжатия изображений // Научная сессия ГУАП: сб. докл. В 3 ч. Ч. 2. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2018. С. 369–373.
9. *Ненашев В. А., Васильев И. А., Сергеев А. М.* Моделирование сложных кодо-модулированных сигналов для современных систем обнаружения и передачи информации // Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч. 2. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2019. С. 413–417.
10. *Ненашев В. А., Синицын В. А., Страхов С. А.* Исследование влияния промышленных помех на характеристики сжатия фазоманипулированных сигналов в первичных РЛС // Инновационные технологии и технические средства специального назначения: тр. IX общерос. науч.-практ. конф.: в 2 т. Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова. СПб., 2017. С. 351–355.
11. *Айроян З. А., Коркишко О. А., Сухарев Г. В.* Мониторинг магистральных нефтепроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4.
12. Свидетельство гос. рег. базы данных 2020621680. Российская Федерация. База данных характеристик беспилотных летательных систем вертолетного типа / М. Б. Сергеев, Е. К. Григорьев, В. А. Ненашев и др.; патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. № 2020621680; дата поступл. 09.09.2020; дата регистр. 15.09.2020.
13. Свидетельство гос. рег. базы данных 2020621690. Российская Федерация. База данных характеристик беспилотных летательных систем самолетного типа / В. А. Ненашев, Е. К. Григорьев, С. А. Ненашев; правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. № 2020621690; дата поступл. 07.09.2020; дата регистр. 16.09.2020.
14. Свидетельство гос. рег. базы данных 2020621745. Российская Федерация. База данных характеристик беспилотных летательных систем мультикоптерного типа / М. Б. Сергеев, Е. К. Григорьев., В. А. Ненашев и др.; правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. № 2020621745; дата поступл. 10.09.2020; дата регистр. 19.09.2020.
15. *Догерти М.* Дроны: первый иллюстрированный путеводитель по БПЛА / пер. с англ. В. Бычковой, Д. Евтушенко. М.: ГрандМастер, 2017. 224 с.
16. *Аменитский М. В.* Анализ потенциальных угроз системы управления беспилотных летательных аппаратов средних и тяжелых классов // Труды МАИ. 2017. № 94. С. 16.
17. *Бондарев А. Н., Киричек Р. В.* Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 4. С. 13–23.
18. On-Board Unlimited Aircraft Complex of Environmental Monitoring / M. Wattimena, V. Nenashev, A. Sentsov, A. Shepeta. 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, 2018. P. 1–5.
19. Performance of UWB Signal Detecting Circuits / A. Shepeta, A. Makhlin, V. Nenashev, A. Kryachko. 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, 2018. P. 1–4.
20. *Nenashev V., Sentsov A., Shepeta A.* Formation of radar image the earths surface in the front zone review two-position systems airborne radar. 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019). 2019. P. 8840641.
21. *Сенцов А. А., Поляков В. Б., Дмитриев В. Ф.* Комплекс мобильных радиолокационных станций внешнетракторных измерений // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 9. С. 30–35.
22. *Ненашев В. А., Сенцов А. А., Куюмчев Г. В.* Моделирование процесса формирования радиолокационного изображения высокого разрешения в бортовых РЛС. Вопросы радиоэлектроники. 2013. Т. 2. № 3. С. 48–56.