

БОЛЬШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. И. Мельничук

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
pelmenio@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время идет работа по усовершенствованию малой беспилотной авиации, в том числе создание комплексов малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с сетевой организацией. Подобные системы должны эксплуатироваться небольшим коллективом непрофессионалов, что обеспечивается за счет особенностей построения данной системы. *Материалы и методы.* Технологически это выражается во включении в систему следующих подсистем – подсистемы автономного управления полетом, подсистемы автоматизации анализа и визуализации, и информации, а также организации системы сетевого управления комплексом БПЛА. Проведен анализ применения и особенности малых БПЛА. Показано, что потребность в БПЛА помимо обороны будет продолжать расти и в других областях гражданского применения. *Результаты и выводы.* Представлена разнообразная линейка небольших БПЛА, на основе которых создаются системы для любой ситуации с учетом мер обеспечения безопасного и защищенного общества. Дан анализ тенденций развития сетевых комплексов малых БПЛА.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, управление, навигация, анализ и визуализация изображений

Для цитирования: Мельничук А. И. Большие перспективы малых беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 88–94. doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-10

GREAT PROSPECTS FOR SMALL UNMANNED AIRCRAFT

A.I. Melnichuk

Penza State University, Penza, Russia
pelmenio@mail.ru

Abstract. *Background.* Currently, work is underway to improve small unmanned aircraft, including the creation of complexes of small unmanned aerial vehicles (UAVs) with a network organization. Such a system should be operated by a small team of non-professionals, which is ensured by the design features of this system. *Materials and methods.* Technologically, this is expressed in the inclusion of the following subsystems in the system – an autonomous flight control subsystem, an automation subsystem for analysis and visualization, and information, as well as the organization of a network control system for the UAV complex. An analysis of the application and features of small UAVs was carried out. It is shown that the need for UAVs in addition to defense will continue to grow in other areas of civil applications. *Results and conclusions.* A diverse line of small UAVs is presented, on the basis of which systems are created for any situation, taking into account measures to ensure a safe and secure society. An analysis of trends in the development of network complexes of small UAVs is given.

Keywords: unmanned aerial vehicles, control, navigation, image analysis and visualization

For citation: Melnichuk A.I. Great prospects for small unmanned aircraft. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(2):88–94. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-10

Введение

В настоящее время возросла потребность в сборе информации с воздуха на местах стихийных бедствий и аварий, а также мониторинга состояния протяженных пространственно-распределенных объектов. В наилучшей степени к подобным применениям приспособлены беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые выступают в качестве безопасного и эффективного средства получения информации в труднодоступных регионах, к которым затруднен или вовсе невозможен прямой доступ. Например, в местах стихийных бедствий или конфликтов. БПЛА используются для сбора и

обработки информации, в том числе и о степени повреждений. Например, требуется выявить места разлива нефти из нефтепроводов, обрывы электрических проводов высоковольтных линий, следы пожаров и т.п. [1–5].

Существует множество классификаций БПЛА. В простейшем варианте БПЛА подразделяются на большие БПЛА, такие как американские военные, например, RQ-4 Global Hawks, а также небольшие БПЛА с массой планера 100 кг или меньше. Планеры больших БПЛА способны совершать дальние и высотные полеты, а также носить крупномасштабное оборудование, необходимое для их эксплуатации. Большие БПЛА включают в себя широкий спектр датчиков (камер, радаров и т.д.), навигационные устройства и оборудование связи, защиты от внешних воздействий и т.п. Это обеспечивает решение достаточно глобальных проблем обработки больших объемов информации, но подобные системы довольно сложны в эксплуатации и имеют высокую стоимость.

Большинство реальных задач практического применения не носит столь глобальных масштабов. При этом существуют мобильные и дешевые системы обработки изображений, используемые в мобильных телефонах, персональных компьютерах (ПК), камерах и других электронных устройствах, обеспечивающих высокий уровень функциональности и производительности, простоты построения протокола обмена информации. Так, например, в настоящее время разрабатываются небольшие системы БПЛА, включающие в себя планеры массой менее 100 кг, которые могут использовать небольшое количество операторов для сбора информации стихийных бедствий, конфликтов или для производственных нужд. Подобного типа БПЛА используют самые передовые технологии сбора и обработки информации, которыми может легко управлять небольшое количество людей на месте для мониторинга стихийных бедствий, последствий военных действий или в иных в том числе гражданских применений. На рис. 1 дана схема применения малых БПЛА.



Рис. 1. Схем применения малых БПЛА

Как видно из рис. 1, на пересеченной местности имеются естественные преграды для распространения радиоволн. Необходимо предусмотреть меры повышения дальности действия высокочастотных радиоволновых систем.

Рассмотрим функции, выполняемые группой малых БПЛА, а также перспективы их развития.

Особенности малых БПЛА

Как было указано выше, небольшая система БПЛА поддерживается широким спектром технологий. Рассмотрим ключевые технологии управления и навигации, а также проблемы обработки больших массивов видеoinформации. Основной проблемой становится возможность быстрой (с малыми вычислительными возможностями) обработки информации для принятия решения на борту малого БПЛА с тем, чтобы в автоматическом режиме передать целеуказание в тех местах, где ограничены возможности спутниковой связи. При этом на борту малого БПЛА должна располагаться система автономного управления полетом, с учетом быстро изменяющихся внешних воздействий, например, воздушных потоков, климатических воздействий и др. Рассмотрим системы автономного управления полетом малых БПЛА [6, 7].

Исторически первые БПЛА управлялись операторами-пилотами по радиоканалу. Действия пилота по беспроводной связи передавались на БПЛА, система управления которого соответствующим образом обрабатывала команды управления. По этой причине управление БПЛА во многом зависело от мастерства пилота, качества связи, наличия помех в радиоканале.

В настоящее время все чаще используется автономное управление, которое позволяет сделать полет простым и безопасным. Автономное управление полетом означает, что на борту БРЛП расположено навигационное устройство автопилота. При этом БПЛА осуществляет автономный полет по заранее заданному полетному плану (заданию). Развитию систем автономного управления полетом способствует появление высокопроизводительных навигационных систем (датчиков), небольших, легких и относительно недорогих систем глобального позиционирования (GPS), инерциальных навигационных систем (INS), высотомеров, индикаторов скорости полета, а также процессоров, которые позволяют организовать автономные полеты малых БПЛА по заданной траектории.

Система автономного управления полетом малого БПЛА включает в себя, во-первых, наземное оборудование, которое используется для создания плана полета и для передачи его в бортовую систему управления БПЛА. Во время полета автопилот сверяет данные координат полетного задания с координатами, полученными от автономного навигационного датчика. При этом вычисляется собственное положение и ориентация БПЛА. Этот процесс выполняется в реальном времени, поэтому он подвержен воздействию внешних возмущений и должен учитывать любые внезапные перемещения, вызванные, например, порывами ветра.

Во-вторых, в БПЛА используется бортовая система приводов, обеспечивающая полет (двигатели винтов, элеронов, закрылков и т.д.), которая управляется по заданной программе с тем, чтобы аппарат последовательно проходил в заданные точки прохождения траектории полета. Рассмотрим базовый вариант организации автономного управления полетом, которая представлена на рис. 2.



Рис. 2. Базовый вариант организации автономного управления полетом БПЛА

Анализ рис. 2 показывает взаимосвязь функций наземного оборудования и внутренние функции БПЛА. При этом подчеркивается необходимость вычислений целевого положения и ориентации БПЛА. В планах полета указываются реперные точки прохождения траектории, а также высота, широта и долгота. План полета, ранее загруженный в БПЛА, можно изменить в ходе полета путем беспроводного его сброса/уточнения. Также возможно при использовании наземного оборудования получить указания о переходе с автономного режима на режим ручного управления в реальном времени (включая изменение направления, высоты и скорости) [7].

Организация системы сетевого управления комплексом БПЛА

Основной задачей комплекса БПЛА является получение изображений и другой видеoinформации, получаемой в режиме реального времени, и передача ее наземному оборудованию.

Обычно, когда беспроводная связь используется для передачи изображений или других больших объемов данных малой беспилотной летательной системой, необходимо организовать высокоскоростной канал связи с широкой полосой пропускания. Это возможно на основе диапазона высоких и сверхвысоких частот. Сигналы в высокочастотном диапазоне подвержены большим искажениям при распространении, они сильно зависят от рельефа местности, а также не позволяют организовать устойчивую связь с объектами за горизонтом.

Малые БПЛА летают на небольшой высоте и огибают рельеф местности, на которой могут встречаться достаточно высокие горы. Необходимо организовать устойчивую связь в реальных условиях, для этого в комплексе БПЛА выделяют отдельные аппараты для ретрансляции радиосигналов. Таким образом, используя БПЛА-ретрансляторы в дополнение к небольшим БПЛА, делающим снимки, организуется устойчивая связь в режиме реального времени, даже в отсутствие прямой видимости между аппаратами.

Для организации нисходящей связи используют технологию беспроводной сети (LAN) на основе протокола множественного доступа/предотвращения конфликтов с контролем несущей (CSMA/CA), в сочетании с технологией одноранговой сети создается гибкая сеть без необходимости для сложных настроек. Эти технологии позволяют организовать сетевую структуру комплекса малых БПЛА, на основе разных видов БПЛА и наземного оборудования. При этом необходимо организовать функцию одновременной передачи (многоадресной рассылки), которая позволяет обмениваться информацией с несколькими наземными устройствами. На рис. 3 дана системная модель многопользовательской сети нисходящей связи «воздух–земля» [8].

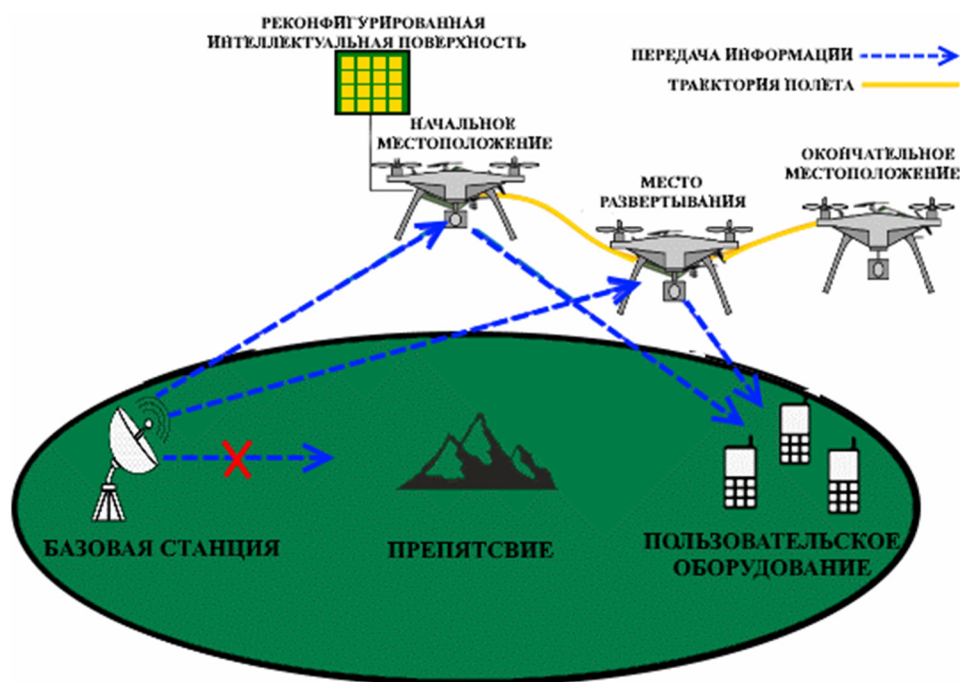


Рис. 3. Системная модель многопользовательской сети нисходящей связи «воздух–земля»

Из анализа рисунка следует, что для сетевой организации комплекса БПЛА необходимо иметь ретрансляторы сигналов, позволяющие осуществлять связь в условиях пересеченной местности, а также устойчивую связь с наземным оборудованием.

В ближайшее время для обеспечения устойчивого обмена информацией необходимо обеспечить работу с изображениями сверхвысокого разрешения, для которой необходимы технологии сжатия/декомпрессии изображений и видео. Это позволяет использовать аппаратуру с более узкой полосой частот.

Технологии автоматизации и анализа информации

Первоначально сбор информации с воздуха включал в себя ручное определение целей и определение координаты. В настоящее время в связи с ростом объема перерабатываемой информации возникла потребность в автоматическом ее анализе. Это позволяет снизить нагрузку на пользователей.

Для многих практических задач необходимо иметь не просто изображения целей, а еще время съемки, положение съемки, ориентацию планера и наклон камеры, все это позволяет организовать сетевое управление БПЛА.

Несколько устройств создают гибкую сеть. Используя небольшие БПЛА в качестве ретрансляторов, становится возможным общаться в реальном времени с другими небольшими БПЛА, находящимися за горизонтом. Снимки используются для расчета координат положения указанной цели, а информация о цели отображается на карте.

На рис. 4 представлено экранное меню, на котором отображены рельеф местности, информация о цели и ее положении, а также другая информация, полученная с датчиков, расположенных на небольших БПЛА. Эффективная визуализация измеренной информации облегчает ее восприятие.

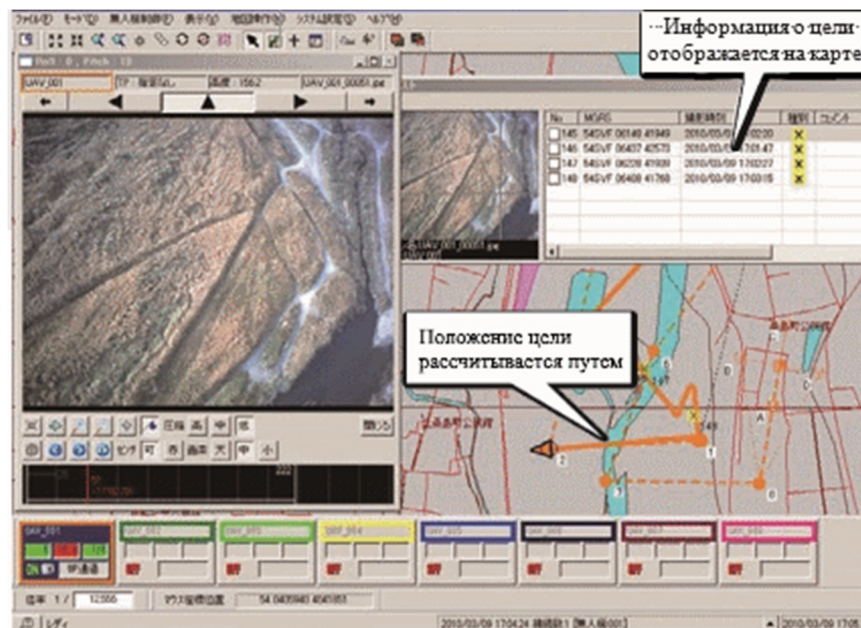


Рис. 4. Экранное меню системы обработки информации

Анализ рисунка позволяет получить информацию о цели, на основе которой рассчитываются ее координаты.

Кроме того, в настоящее время ведется работа по созданию технологии мозаичного представления для последовательных получаемых изображений на карту для создания карты большой территории. Для создания технологии автоматического обнаружения координат движущихся целей используется мозаичное представление объектов, перемещающихся в пространстве. Тем самым наземная система может автоматически обнаружить цель на основе обработки изображения цели на непрерывно снятых изображениях. При этом одновременно вычисляются положение цели, направление движения и скорость. Это способствует развитию автоматизации анализа информации и технологии визуализации [9].

Анализ тенденций развития сетевых комплексов малых БПЛА

Как показано выше, для повышения универсальности необходимо обеспечить более высокий уровень функциональности и производительности в широком спектре систем беспилотных летательных аппаратов. Для этой цели помимо небольших БПЛА ближнего действия с размахом крыльев до 1,5 м требуется использовать более крупные БПЛА с размахом крыльев до 4 м, в том числе БПЛА со стационарным питанием от наземной станции (привязные БПЛА) и др.

Рассмотрим конструкции подобных БПЛА, которые изготавливаются из легких сплавов и имеют небольшую массу, и достаточно просты в эксплуатации, это позволяет их легко переносить и эксплуатировать с помощью небольшого количества людей. На рис. 5 показан внешний вид при хранении и переноске и во время развертывания. Также стал возможен бросковый взлет, причем для взлета или приземления не требуется никаких специальных устройств или средств. При этом наземное оборудование значительно упрощается, становясь маленьким и легким.

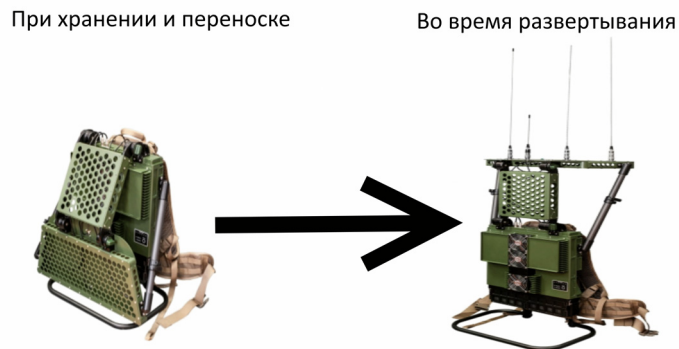


Рис. 5. Внешний вид наземного оборудования при хранении, переноске и развертывании

Автоматическая обработка информации с малых БПЛА проводится на управляющей ЭВМ, на мониторе которой отображается видеoinформация с малых БПЛА.

Более крупные БПЛА применяются для наблюдения за более удаленными и большими территориями в течение длительного времени, например, изолированные острова и регионы, пострадавшие от катастрофы и т.д.

Привязной БПЛА постоянно подключен к наземному оборудованию, даже во время полета (как силовым, так и коммуникационным кабелями), и поэтому может оставаться в воздухе в течение длительного времени (рис. 6).



Рис. 6. Общий вид системы привязного БПЛА

Тип привязного БПЛА применяется для обеспечения коммуникационной инфраструктуры в регионах стихийных бедствий, создания временных базовых станций для различных мероприятий, а также для долгосрочного мониторинга подозрительных территорий, окруженных высокими препятствиями.

Заключение

Таким образом, сетевая организация малого БПЛА требует для своей реализации достаточно широкий конструктивный ряд дронов. Для расширения возможностей мониторинга с помощью мобильных систем необходимо расширять спектр передовых технологий и конструктивных решений. А также системы информационного анализа и обмена информацией, работающих на основе небольших систем БПЛА следующего поколения, что позволит повысить безопасность.

Список литературы

1. Горячев Н. В., Ергалиев Д. С., Полтавский А. В. [и др.]. Беспилотные летательные аппараты. Проблемы проектирования и эксплуатации : монография. Пенза, 2023.
2. Юрков Н. К., Полтавский А. В., Маклаков В. В., Бородуля В. М. Когерентный контроль координат основных модулей нежесткой фазированной антенной решетки беспилотного летательного аппарата // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 100–102.

3. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Система управления комплексными методами борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 95–98.
4. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 2. С. 62–70.
5. Полтавский А. В., Жумабаева А. С., Юрков Н. К. Алгоритм определения индикатрисы излучения подвижного объекта на примерах робототехнического комплекса беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 3. С. 23–30.
6. Полтавский А. В., Юрков Н. К., Семенов С. С. Информатизация образования: семантика термина «беспилотный летательный аппарат» // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 1. С. 301–302.
7. Юрков Н. К., Жумабаева А. С., Полтавский А. В. К проблеме модельного синтеза комплексов беспилотных летательных аппаратов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 1. С. 73–81.
8. Согомонян К. Э., Юрков Н. К. Воздействие ультракоротких импульсов электромагнитного излучения на беспилотные летательные аппараты // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 2. С. 315–317.
9. Полтавский А. В., Юрков Н. К. Отбор операторов автоматизированных рабочих мест многофункциональным комплексам беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 1. С. 70–76.

References

1. Goryachev N.V., Ergaliev D.S., Poltavskiy A.V. et al. *Bespilotnye letatel'nye apparaty. Problemy proektirovaniya i ekspluatatsii: monografiya = Unmanned aerial vehicles. Problems of design and operation : monograph.* Penza, 2023. (In Russ.)
2. Yurkov N.K., Poltavskiy A.V., Maklakov V.V., Borodulya V.M. Coherent coordinate control of the main modules of the non-rigid phased array antenna of an unmanned aerial vehicle. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2013;2:100–102. (In Russ.)
3. Godunov A.I., Shishkov S.V., Yurkov N.K. Control system of complex methods of combating small-sized unmanned aerial vehicles. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2014;1:95–98. (In Russ.)
4. Godunov A.I., Shishkov S.V., Yurkov N.K. Complex of detection and control of small-sized unmanned aerial vehicles. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2014;(2):62–70. (In Russ.)
5. Poltavskiy A.V., Zhumabaeva A.S., Yurkov N.K. Algorithm for determining the radiation indicatrix of a mobile object using examples of a robotic complex of unmanned aerial vehicles. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2015;(3):23–30. (In Russ.)
6. Poltavskiy A.V., Yurkov N.K., Semenov S.S. Informatization of education: semantics of the term "unmanned aerial vehicle". *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2018;1:301–302. (In Russ.)
7. Yurkov N.K., Zhumabaeva A.S., Poltavskiy A.V. On the problem of model synthesis of unmanned aerial vehicle complexes. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2017;(1):73–81. (In Russ.)
8. Sogomonyan K.E., Yurkov N.K. The effect of ultrashort pulses of electromagnetic radiation on unmanned aerial vehicles. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2019;2:315–317. (In Russ.)
9. Poltavskiy A.V., Yurkov N.K. Selection of operators of automated workplaces for multifunctional complexes of unmanned aerial vehicles. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2019;(1):70–76. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Антон Иванович Мельничук
аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: pelmenio@mail.ru

Anton I. Melnichuk
Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 05.12.2023

Поступила после рецензирования/Revised 15.01.2023

Принята к публикации/Accepted 12.02.2024