

Усовершенствование БПЛА за счет интеграции устройств на принципе радиофотоники для радиомониторинга

А.С. Евтушенко

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга»

Аннотация: в данной статье рассматривается усовершенствование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) путём интеграции устройств на основе радиофотоники для радиомониторинга. В исследовании анализируются существующие технологии радиофотоники, оценивается рациональность интеграции и предлагаются пути улучшения БПЛА для повышения их эффективности и безопасности в задачах радиомониторинга. Перспективы развития систем и средств комплексов с БПЛА связаны с увеличением автономности, длительности полёта, разработкой систем и улучшением систем автоматизации.

Ключевые слова: БПЛА, радиофотоника, радиомониторинг, интеграция устройств, усовершенствование, технологии, перспективы развития.

1. Введение

С развитием технологий радиофотоники, появились новые возможности для совершенствования систем радиомониторинга в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Радиофотоника, сочетающая в себе радиочастотные технологии и законы фотоники, обеспечивает превосходные характеристики в плане чувствительности, пропускной способности и диапазона рабочих частот.

Суть интеграции систем на основе фотоники в БПЛА, в сравнении с подобными существующими системами заключается в использовании фотонных компонентов для обработки и передачи радиочастотных сигналов. Это позволяет уменьшить вес приборов, энергопотребление и размеры оборудования, что критически важно для БПЛА с их ограниченными ресурсами. Кроме того, данные системы менее восприимчивы к электромагнитным помехам, шумам и потерям, что увеличивает качество получаемых результатов. [1-3]

Одно из главных преимуществ систем, основанных на принципах радиофотоники – способность одновременно обрабатывать большое количество сигналов, что несомненно улучшает возможности мониторинга за широким спектром частот. Это особенно важно в условиях, когда БПЛА используются для осуществления наблюдения или контроля за электромагнитной обстановкой на заданной территории.

Интеграция радиофотонных устройств в БПЛА начинается с разработки миниатюрных преобразователей (**Рисунок. 1**), которые могут быть легко интегрированы в бортовую систему летательного аппарата. Подобные устройства выполняют преобразования радиочастотных сигналов в оптический диапазон и обратно, позволяя передавать данные на большие расстояния без значительных потерь. [4, 5]



Рисунок 1. Пример акустооптического преобразователя

Внедрение радиофотонных устройств значительно повышает эффективность радиомониторинга, делая БПЛА более автономными и функциональными, что открывает перед пользователями новые возможности для выполнения сложных задач мониторинга, контроля и обеспечения безопасности.

Ярким примером такого устройства является акустооптический модулятор (АОМ), который состоит из нескольких компонентов:

- оптический приемник;
- оптоволоконный кабель
- оптический передатчик

В качестве оптического передатчика может применяться полупроводниковый лазер (Рисунок 2) с длинной волн от 1300 нм, которые в свою очередь будут преобразовывать аналоговый или цифровой электрический сигнал в требуемый световой, за счет коррекции модуляции при помощи подгона тока накачки (инъекции лазера).

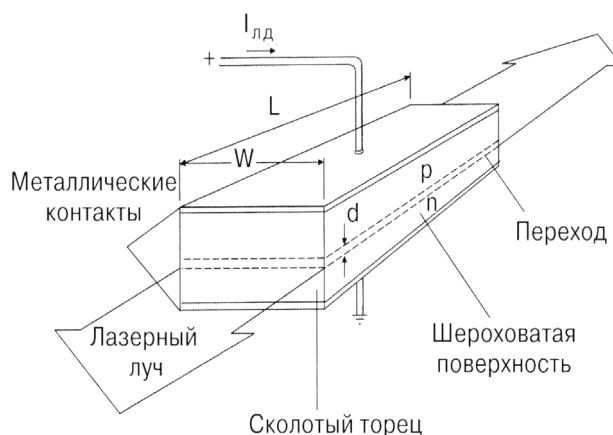


Рисунок 2. Схема работы полупроводникового (твердотельного) лазера.

В роли оптического приемника могут использоваться различные высоковоспроизводительные фотодиоды (к примеру, лавинные или p-i-n), выполняющие одну из функций преобразования светового сигнала в копию исходного электрического сигнала. Преимущество использования подобных лавинных светодиодов – более высокая квантовая эффективность, что дает возможность получения более высокого уровня мощности на выходе. [6]

Оптоволоконный кабель может состоять из одного или нескольких кварцевых волокон или халькогенидных стекол и будет использоваться, как световод. Оптоволокно состоит из ядра и демфера, выполненных из материалов различного коэффициента преломления. Задача демферного слоя в создании расслоения сред и разграничение распространения оптического луча за пределы ядра. В силу того, что предназначение разделяются на многомодовые (MM) и одномодовые (SM) оптические волокна, но основным критерием

различия является диаметр сердцевины и различие мод оптического луча. В SM волокнах оптический луч распространяется только в одной моде волокна диаметром 9 мкм, в отличие от MM которые диаметры которых различаются от 50 до 63 мкм, также имея в себе градиентное или ступенчатое распространение мод в волокне. Недостатком ступенчатого распространения мод является высокая дисперсия, что обусловлено большим количеством мод. [1]

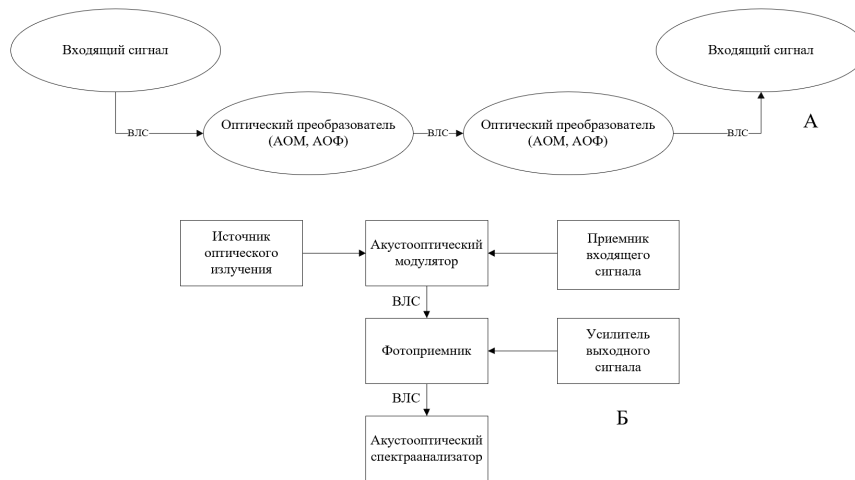


Рисунок 3. Схема волоконной линии связи: а) прямая; б) с модуляцией

Спектральный анализ основан на трансформирующих свойствах линзы и представляет собой наиболее естественную процедуру обработки сигналов в оптических системах. [8-9]

Принцип работы акустооптического анализатора спектра иллюстрируется на рисунке 4.

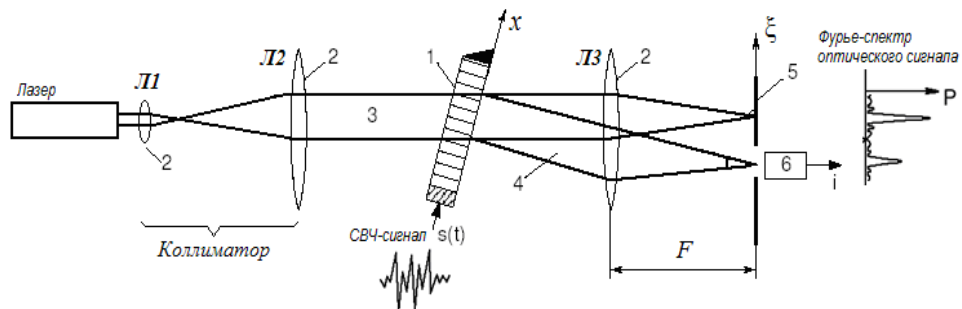


Рисунок 4. Акустооптический анализатор спектра с пространственным интегрированием

1 – АОМ, 2 – сферические (или цилиндрические) линзы, 3 – падающий световой пучок, 4 – дифрагированный световой пучок, 5 – экран с диафрагмой, 6 – фотоприемник.

Радиочастотный СВЧ-сигнал возбуждает в звукопроводе АОМ акустические колебания, пространственный спектр которых определяется спектром СВЧ-сигнала и передаточной характеристикой электроакустического преобразователя.[9] При освещении АОМ когерентным светом в фокальной плоскости линзы формируется Фурье-спектр оптического сигнала, дифрагментирующего на АОМ. Каждой Фурье-гармонике этого спектра соответствует определенная Фурье-компонента спектра, анализируемого СВЧ-сигнала. Распределение мощности света в фокальной плоскости линзы, отображающее спектр СВЧ-сигнала, регистрируется, например, с помощью фотоприемника, перед которым располагается сканирующая щель или с помощью линейки фотодиодов. [6-8]

Основные рабочие характеристики акустооптического спектроанализатора пространственного интегрирования (АОСПИ) определим, рассматривая в качестве воздействующего сигнала гармоническое колебание с частотой Ω в линейном режиме

дифракции. В качестве трансформирующей линзы ЛЗ будем использовать цилиндрическую линзу. q_i – угол падения световой волны на входе АОМ, q_s – угол направления на дифракционный порядок.

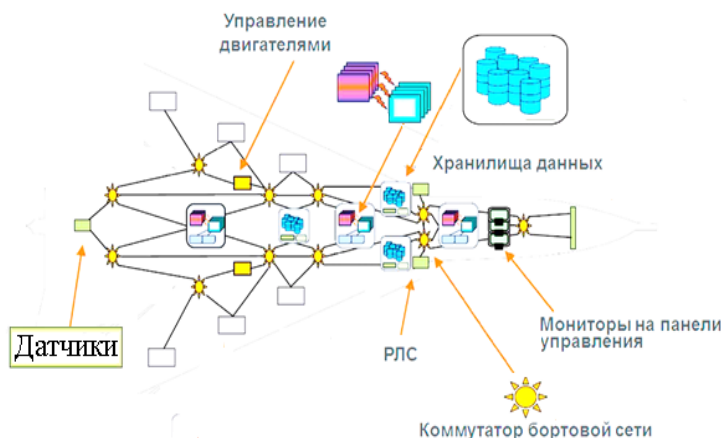


Рисунок 5. Применение волоконной линии связи в связке с акустооптической системой для радиомониторинга в БПЛА[10]

Заключение

В заключении можно сказать, что развитие систем и средств комплексов с БПЛА имеет большое значение для современного общества. БПЛА открывают новые возможности и решают множество проблем в различных областях, таких как гражданская авиация, сельское хозяйство и экология.

Перспективы развития систем и средств комплексов с БПЛА связаны с увеличением автономности, длительности полёта, разработкой мультироторных систем и улучшением систем автоматизации. Интеграция БПЛА в общую сеть связи и управления также является важным направлением развития.

Применение БПЛА в гражданской авиации, сельском хозяйстве, экстренных ситуациях БПЛА могут использоваться для контроля состояния инфраструктуры, мониторинга полей и посевов, оценки повреждений от стихийных бедствий и других задач.[5]

Развитие систем и средств комплексов с БПЛА имеет практическую значимость и может принести существенную выгоду как экономическую, так и экологическую. Более рациональное использование БПЛА сокращает затраты на выполнение определённых задач, уменьшает риски для операторов и минимизирует воздействие на окружающую среду.

Таким образом, актуальность темы научной статьи о перспективах развития систем и средств комплексов с БПЛА обусловлена ростом спроса на БПЛА, развитием технологий и потенциалом современных систем и средств, а также практической значимостью и экономической выгодой от их использования.

Список литературы

1. Шарапов Г.А., Бочаров А.Г., Калябин Е.В., Якубовский С.В. Метод повышения эффективности систем и комплексов РЭБ авиационного и наземного базирования при использовании акустооптоэлектронного приемника // Радиотехника. 2020. Т 84. № 10(20). С. 39-43.
2. Л. Шао, С. Майти, Л. Чжэн, Л. Ву, А. Шамс – Ансари, И. Сон, И. Пума, М. Н. Гадалла, М. Жанг, С. Ванг, И. Ху, К. Лай и М. Лонкар «Разработка структуры фоновой диаграммы для высокочастотных гигагерцевых резонаторов поверхностных акустических волн на ниобате лития.» Phys. Rev. Appl. 12(1), 014022 (2019).
3. Ашихмин А. В., Виноградов А. Д., Рембовский А.М., Сладких В.А. Способ однопозиционного местоопределения источников радиоизлучения с использованием бортового радиопеленгатора

- беспилотного летательного аппарата вертолетного типа // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 40-57. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-4-40-57
4. Молоденков С.А., Пашкин М.С. Анализ современных беспилотных летательных аппаратов // Современные научные исследования и инновации. 2023. № 9 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2023/09/100804> (дата обращения: 10.03.2024).
 5. Э. А. Китглаус, У. М. Джонс, Т. Ракич, Н. Т. Отгерстром, Р. Э. Мюллер и М. Раис-Заде, «Акустооптика с электрическим приводом и широкополосная невзаимность в кремниевой фотонике», arXiv e-prints p. 2004.01270 (2020). Л. Шао, С. Майти, Л.
 6. Чонг Ю., Попа Би-И. Акусто-оптические метаповерхности для систем акустической визуализации высокого разрешения. Phys Rev B (2021) 104(14): L140304. doi: 10.1103/physrevb.104.L140304.
 7. Гутцулис АП. Проектирование и изготовление акустооптических устройств. Бока-Ратон: CRC Press (2021).
 8. В. Пожар и А. Мачихин, редакторы. Акустооптическая спектроскопия изображений. В: Волновая электроника 2021 года и ее применение в информационных и телекоммуникационных системах (WECONF). IEEE (2021).
 9. Харрисон С., Уоллес Р. Акустооптический перестраиваемый фильтр. J Opt Soc Am (1969) 59(6):744-7. doi: 10.1364/josa.59.000744.
 10. Медведский Ю.Н., Шарапов Г.А., Подшивалова В.Ю., Карсеев А.И. Планарные оптические волноводы на основе алмазных пленок в ниобате лития для интегрального оптоэлектронного СВЧ – спектроанализатора // Доклад на V Всероссийской микроволновой конференции 2017.С.208.