

## МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И СРЕДСТВА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ ВЕДЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТАМИ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

*А.А. Бородич, Е.В. Коляда*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС*

**Аннотация.** В данной статье автором рассмотрены методы и подходы оптимального проектирования беспилотного летательного аппарата для ведения наблюдения за объектами по заданной траектории. Предложены варианты улучшения качества и захвата системы наблюдения, конфигурации, повышения продолжительности полёта и безопасности БПЛА.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, методы оптимального проектирования, траектория

**Введение.** Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой автономные или дистанционно управляемые летательные устройства без присутствия человека на борту. БПЛА используются в различных областях, таких как военное дело, гражданская авиация, аэрофотосъемка, доставка грузов и многое другое. Применение БПЛА обеспечивает ряд преимуществ, таких как повышение безопасности и эффективности в различных отраслях, сокращение затрат на проведение различных операций, расширение возможностей наблюдения и мониторинга и другие. Однако использование БПЛА также вызывает определенные проблемы и вызовы, такие как обеспечение безопасности полетов, защита личной жизни и конфиденциальности, регулирование использования воздушного пространства и другие [1–9].

**Основная часть.** Оптимальное проектирование беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для ведения наблюдения за объектами по заданной траектории включает в себя ряд методов и подходов, которые позволяют создать эффективную систему наблюдения. Ниже приведены некоторые из ключевых методов оптимального проектирования БПЛА для этой цели:

- анализ требований к системе наблюдения;
- выбор конфигурации БПЛА;
- использование алгоритмов планирования траектории;
- разработка автопилота и системы управления;
- выбор навигационной системы для точного следования заданной траектории;
- оптимизация системы передачи данных для передачи информации о наблюдаемых объектах в реальном времени;
- учет энергоснабжения и безопасности.

Первым шагом является анализ требований к системе наблюдения, включая характеристики объектов, которые необходимо наблюдать, дальность и разрешение камер, а также другие параметры. Для строгой фотограмметрической обработки данных аэросъемки и получения максимально точных результатов необходимо, чтобы снимки в одном маршруте имели тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съемке составляло не менее 20%. Так как полет БПЛА не устойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие возмущающие факторы, то проектировать съемку с БПЛА следует с перекрытием вдоль маршрутов 80%, а между маршрутами – 40%, чтобы, по возможности, исключить разрывы в фототриангуляционном блоке [2]. Снимки цифровых камер, как любительских, так и профессиональных, имеют прямоугольную форму. Поэтому выгоднее будет располагать камеру так, чтобы длинная

сторона снимка располагалась поперек полета – это позволяет снимать большую площадь при той же длине маршрута.

В зависимости от требований к системе наблюдения выбирается оптимальная конфигурация БПЛА. Его корпус должен быть легким, но прочным, чтобы обеспечить длительное время полета и защиту электроники. Конструкция должна быть аэродинамической для повышения эффективности и стабильности полета. БПЛА должен обладать грузоподъемностью, достаточной для перевозки камер и другого сенсорного оборудования. Двигатель должен обеспечивать достаточную тягу для поддержания заданной траектории и высоты полета. Рационально будет использовать электрические двигатели, так как они более экологичны и обеспечивают более тихий полет.

Траектория движения определяет путь, по которому БПЛА будет перемещаться, что позволяет избегать столкновений с другими объектами в воздушном пространстве. Это особенно важно для предотвращения аварий и обеспечения безопасности полета. Кроме того, оптимальная траектория движения позволяет БПЛА использовать энергию и ресурсы более эффективно. Например, кратчайший путь между точками назначения сокращает время полета и уменьшает расход топлива или заряда аккумулятора. Первым этапом решения задачи составления траектории является построение эталонного пути без учета динамических препятствий. В зависимости от области применения БПЛА может возникать ряд требований, которые должны быть учтены в построенном пути. Эталонный путь задается множеством или последовательностью опорных точек, через которые должен пройти аппарат с определенными скоростями, возможно с ограничением общего времени движения. На втором этапе решается задача движения по заранее построенному пути с учетом воздействия воздушной среды. Наличие корректирующих управлений и является вынужденной необходимостью [6].

Для следования БПЛА по определённой траектории ему понадобятся система навигации и автопилот. Автопилот способен автоматически управлять полетом БПЛА, следуя заранее заданным маршрутам, выполняя различные маневры и задания без прямого участия оператора. Модуль автопилота включает в себя мощный процессор, датчики систем ориентации и навигации (датчики статического давления, датчики динамического давления, трёхосевые акселерометры, трёхосевые угловые датчики, трёхосевые магнитометры), датчики контроля заряда батареи, порты *USB* для подключения дополнительных датчиков [7]. На основании показаний датчиков производится стабилизация БПЛА. Модуль автопилота обрабатывает сигналы, вырабатывая команды несущим винтам.

Чтобы передавать данные о наблюдаемых объектах в реальном времени, БПЛА должен быть оснащен системой передачи данных. Как правило, на борту БПЛА имеется как минимум две системы связи: дуплексная и симплексная. Дуплексная система связи представляет собой способ организации передачи данных, при котором возможна одновременная двусторонняя связь между устройствами. Эта система служит для передачи командно-телеметрической информации. Симплексная система связи представляет собой способ передачи данных, при котором информация передается только в одном направлении, от источника к получателю, без возможности обратной связи [8]. Эта система предназначена для односторонней высокоскоростной передачи информации полезной нагрузки с борта БПЛА на НКУ.

Одной из самых важных характеристик БПЛА является продолжительность полета. А она напрямую зависит от количества доступной энергии на борту и эффективности ее использования. Собственно, аккумуляторная батарея – самая тяжёлая комплектующая БПЛА, поскольку именно от её параметров будет зависеть время автономной работы. На сегодняшний день в электрических БПЛА во всем мире следует использовать литий-ионные аккумуляторные батареи. Эти батареи обладают низким уровнем саморазряда. Выпускаются в разных размерах и с различным весом, что упрощает их эксплуатацию. Не нуждаются в обслуживании [9].

Важным этапом является обеспечение конфиденциальности и целостности данных. Обязательно должна присутствовать защита данных и систем от взломов и кибератак, ведь

данные могут попасть не в те руки. Важно заранее продумать и реализовать функции автоматического возврата на базу, избегание столкновений и аварийное приземление.

Таким образом, проектирование БПЛА представляет собой сложную инженерную задачу, требующую интеграции различных технических, программных, безопасностных и регуляторных аспектов для создания надежной и безопасной системы. Проектирование сложных и больших систем, таких как беспилотные летательные аппараты является важной задачей, которая требует соответствующего компромисса для достижения баланса между несколькими связанными целями.

**Заключение.** Рассмотрены методы и подходы оптимального проектирования БПЛА для ведения наблюдения за объектами по заданной траектории. Даны предложения для улучшения качества и захвата системы наблюдения, конфигурации, повышения продолжительности полёта и безопасности БПЛА. Использование предложенных методов и подходов оптимального проектирования позволит создавать БПЛА, способные выполнять сложные задачи наблюдения и мониторинга объектов на заданной траектории с высокой точностью и эффективностью. Это важно, как для военных целей, так и для гражданских приложений, таких как аэрофотосъемка, контроль границ, поиск и спасение, агрономия и многое другое.

### Список литературы

1. Что такое БПЛА: какие они бывают и где используются [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://technoverly.com/что-такое-bpla-kakie-oni-byvayut-i-gde-ispolzuyutsya/>.
2. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV:for-mapping-2/>.
3. Bavbel, E. I. Simulation of the complex impact of thermal and shock loads on electronic modules / E. I. Bavbel, V. F. Alekseev, G. A. Piskun // *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций* : сб. науч. тр. / Севастопольский государственный университет ; редкол.: А. А. Савочкин [и др.]. – Севастополь, 2020. – № 3. – С. 176.
4. Алексеев, В. Ф. Оценка облаков точек БПЛА с помощью искусственного интеллекта / В. Ф. Алексеев, Е. И. Бавбель // *BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics* : сб. науч. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13 марта 2024 года). В 2 ч. Ч. 2 / В. А. Бозуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 12–18.
5. Алексеев, В. Ф. Автономная посадка БПЛА с использованием визуального сервоуправления / В. Ф. Алексеев, Е. И. Бавбель // *BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics* : сб. науч. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13 марта 2024 года). В 2 ч. Ч. 2 / В. А. Бозуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 472–479.
6. Исследование методов планирования траекторного движения беспилотных аппаратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/zaDnoc>.
7. Автопилоты для дронов: особенности работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aggeek.net/ru-blog/avtopiloty-dlya-dronov-osobennosti-raboty>.
8. Классификация каналов связи. Симплексный. Полудуплексный. Дуплексный. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lazysmart.ru/osnovy-avtomatiki/klassifikatsiya-kanalov-svyazi-simplek/>
9. Устройство беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/ELzyQQ>.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

## METHODS, ALGORITHMS AND TOOLS FOR OPTIMAL DESIGN OF DRONES FOR MONITORING OBJECTS ALONG A GIVEN TRAJECTORY

*A.A. Borodich, E.V. Kolyada*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Alekseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD*

**Annotation.** In this article, the author considers methods and approaches for optimal design of an unmanned aerial vehicle for monitoring objects along a given trajectory. Options are proposed to improve the quality and capture of the surveillance system, configuration, increase flight duration and safety of drones.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, optimal design methods, trajectory.