

Бегулов Артур Рустамович

Шевелев Даниил Александрович

студенты, ЛЭГВС 24-02, 2 курс

Лучников Игорь Владимирович

Старший преподаватель кафедры №13

«Системы автоматизированного управления»

ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова

ИНТЕГРАЦИЯ БПЛА В СИСТЕМУ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОДРОМОВ

Аннотация: в данной работе предлагаются и подробно рассматриваются варианты обеспечения взаимодействия беспилотных летательных аппаратов с перспективной и уже существующей системами аэродромного фотоэлектротехнического оборудования, покрывающими потребности безопасной и эффективной координации приема и выпуска воздушных судов. Основной фокус статьи сосредоточен на идеях интеграции систем компьютерного зрения в аппаратуру беспилотников, в перспективе способную обеспечить качественную навигацию в районе аэродрома.

Ключевые слова: БПЛА, освещение, аэропорт, внедрение, эффективность, навигация, контроль, ВС, стандарты, камеры, эшелонирование.

Abstract: in this paper, we propose and consider in detail options for ensuring the interaction of unmanned aerial vehicles with promising and existing airfield photoelectric equipment systems that cover the needs of safe and effective coordination of aircraft intake and release. The main focus of the article is on the ideas of integrating computer vision systems into drone equipment, which in the future will be able to provide high-quality navigation in the airfield area.

Key words: UAV, lighting, airport, implementation, efficiency, navigation, control, aircraft, standards, cameras, separation.

Сегодня системы взаимодействия с беспилотными летательными аппаратами все еще слабо организованы и не лишены ряда фундаментальных недостатков. До сих пор не введены единые стандарты и сертификации для определения оптимальной стратегии взаимодействия и коммуникации. Как было упомянуто выше – самый бурный рост переживает именно отрасль военного применения беспилотников, но открывшиеся перспективы гражданского использования требуют нового подхода как к организации систем управления на различных этапах маршрутного полета, так и к организации систем приема и выпуска БПЛА и маневрирования в районе аэродрома.

Самая классическая форма управления беспилотником представляет из себя систему взаимодействия между оператором и аппаратом, основанную на использовании наземной станции, которая находится в пределах прямой радиовидимости с дроном, организуется так называемая «Прямая радиолиния» (Line-of-Sight). Как правило, данный метод применим для БПЛА, работающих недалеко от оператора, в пределах нескольких километров, так что, забегая наперед, метод не имеет особого потенциала в гражданской авиации, кроме как навигации в районе аэродрома.

Для средне-больших беспилотников самолетного типа используется выделенный спутниковый канал связи (Beyond Line-of-Sight). Этот метод обеспечивает контроль аппаратов, отправленных на дальние миссии, диапазон расстояний уже не ограничен окружностью зоны прямой радиовидимости. Управление может вестись с помощью уже существующей систем спутниковой связи, например Inmarsat, Iridium.

Выше были описаны именно системы взаимодействия, но не менее важно иметь и системы контроля за движением беспилотников, например для целей УВД, особенно при плотной интеграции данных аппаратов в деятельность аэропортов. В рамках данной статьи мы выделим основной и самый перспективный вид контроля БПЛА, а именно – интеграция уже существующих самолетных систем автоматического зависящего наблюдения (ADS). Крупные БПЛА оснащаются транспондерами, схожими с самолетными и передающими по сути – те же пакеты данных, содержащих информацию о местоположении, высоте, скорости, пунктах маршрута, позывном летательного аппарата и т.д.

Концепция ADS (в вариантах ADS-B и ADS-C) идеально подходит для решения этих проблем. Ее суть: летательный аппарат самостоятельно определяет свои координаты (через GNSS, например, GPS/ГЛОНАСС) и периодически транслирует пакет данных.

Одним средством решается сразу масса проблем: системы УВД непрерывно осведомляются и могут выдавать маневровые команды как оператору, так и напрямую дрону, находящиеся рядом БПЛА и традиционные пилотируемые аппараты знают о местоположении и тренде вектора перемещения друг друга – соответственно снижается риск столкновения и повышается общий уровень безопасности полетов, а сторонние наблюдатели снабжаются ограниченной информацией, необходимой для повышения их осведомленности и комфорта (например, клиент компании, доставляющей товары с помощью БПЛА может наблюдать за перемещением аппарата на карте, и, соответственно, оценивать и прогнозировать время его прибытия).

Световая навигация — это ключевой визуальный способ обеспечения безопасного и точного захода на посадку. Пилот ориентируется по специально расположенным огням, которые формируют пространственные «коридоры» и указывают правильную траекторию снижения, положение относительно оси взлётно-посадочной полосы (ВПП) и момент принятия решения о посадке или уходе на второй круг.

Основным средством такой визуальной поддержки являются системы огней высокой интенсивности (ОВИ), соответствующие стандартам ИКАО. Их расположение, цвет и интенсивность свечения строго унифицированы, чтобы обеспечить пилоту чёткое восприятие даже в сложных метеоусловиях.

Основной задачей световой навигации является формирование визуальной глиссады — наклонной линии снижения. Исторически применялись различные схемы, но сегодня в

мировой практике, особенно в странах-членах ИКАО, стандартизированы две основные схемы подсистем огней приближения:

- Схема Кальверта: огни расположены поперечными линиями (см. Рисунок 1).

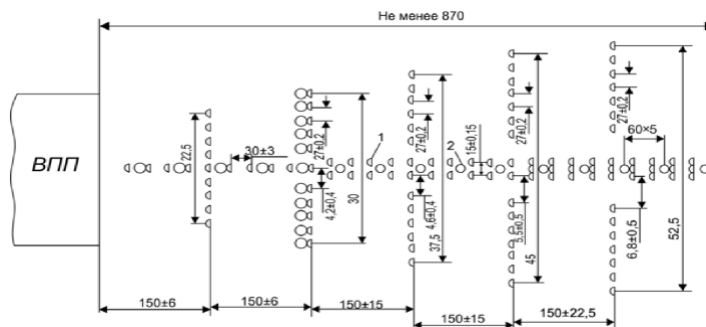


Рисунок 1 – Схема Кальверта

- Схема Альпа-Ата: огни расположены по одной линии, ведущей к порогу ВПП (см. Рисунок 2).

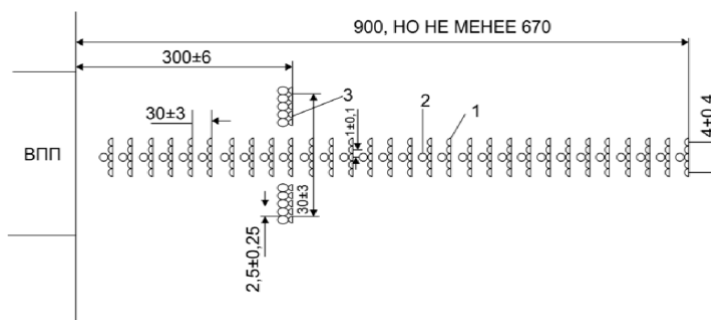


Рисунок 2 – Схема Альпа-Ата

Эти схемы могут различаться в системах ОВИ-1 и ОВИ-2/3, адаптируясь к более высоким требованиям точности и минимумам II и III категорий.

Критически важным для эффективной световой навигации является не только расположение, но и яркость огней. Чтобы обеспечить сбалансированную и чёткую светосигнальную картину при любой погоде (днём, ночью, в тумане или дожде), в системах ОВИ предусмотрено дистанционное управление силой света.

Комплексная система дистанционного управления (в ОВИ-1, ОВИ-2 и ОВИ-3) позволяет диспетчерам с одного или нескольких рабочих мест гибко управлять световым полем аэродрома, адаптируя его под конкретные задачи:

- Выбор направления посадки/взлёта и переключение режима работы системы («Посадка» / «Взлет»).
- Прецизионное управление: групповое и индивидуальное управление ключевыми элементами: глиссадными огнями (задают траекторию снижения), огнями зоны приземления (указывают точку касания) и осевыми огнями ВПП (обозначают центр полосы).

- Управление яркостью: регулировка силы света огней рулёжных дорожек (РД) и стоп-огней для предотвращения ослепления и обеспечения чёткой маршрутизации.
- Специальные функции: управление импульсными огнями (для привлечения внимания), световая сигнализация выполняемых операций, включение маршрутов руления, а также комплексное управление огнями при выезде на ВПП.

В зависимости от требуемой точности и допустимых метеоусловий системы ОВИ обеспечивают навигационную информацию соответствующей детальности:

- ОВИ-1 применяется при метеоминимуме I категории (видимость 550 м, высота принятия решения 60 м). Огни помогают пилоту уверенно завершать заход после выхода из облаков.
- ОВИ-2 используется при II категории (видимость 300 м, высота 30 м). Более интенсивные и точно расположенные огни дают информацию для точного выравнивания в условиях плохой видимости.
- ОВИ-3 предназначена для III категории (видимость 200 м, высота 30 м и ниже). Система обеспечивает максимальную яркость и контрастность, позволяя пилоту контролировать положение самолёта до самого момента приземления, даже в почти полном отсутствии видимости естественного горизонта.

Интеграция БПЛА в деятельность аэродромов требует комплексного подхода, включающего как адаптацию существующей инфраструктуры, так и разработку и внедрение новых технических решений. Необходимость создания новых видов и схем светотехнического оборудования или возможность работы с уже имеющимися средствами зависит от конкретных условий, поставленных задач и стратегических решений в области регулирования воздушного движения.

К аргументам в пользу оснащения БПЛА для работы с имеющейся инфраструктурой можно отнести высокую скорость интеграции, так как в данном случае не требуются масштабные изменения в структуре аэродромов, находящихся по всему миру, что, в свою очередь, сведет затраты бюджетов аэропортов практически к нулю. Кроме того, аппарат, возможности которого позволят полеты по всемирно принятым правилам с использованием огней Кальверта /Альпа-Ата, сможет приземляться на любой сертифицированный аэродром.

Однако, отсюда вытекает техническая сложность разработки БПЛА ввиду требования разработки и установки высокочувствительных и интеллектуальных систем компьютерного зрения, способных достаточно точно распознавать огни в любых метеорологических условиях (дождь, туман, снег), а также в темное время суток.

Подводя итог, стоит отметить, что на данном этапе технологического развития наиболее целесообразным будет оснащение БПЛА для работы с уже существующей инфраструктурой, так как этот метод является более универсальным и менее ресурсозатратным, чем создание специальных средств на аэродромах, тем более что первый вариант также является более перспективным с колоссальным экономическим потенциалом.

С экономической точки зрения, при применении концепции интегрирования БПЛА в уже существующую аэродромную инфраструктуру, открывается возможность открыть новую область взаимодействия, так как требования по безопасности, надежности и безотказности светотехнических систем приема и отправки пассажирских и транспортных гражданских летательных аппаратов безусловно обгоняют требования для применения БВС (исключение – транспортные БВС).

Например, изменяя параметры видеокамеры, установленной на БПЛА и, как бы, подгоняя их под настоящие условия освещенности в районе аэродрома, а также учитывая погодные явления можно дополнительно применить системы контроля за дронами, рассмотренные ранее, для более комплексной отладки необходимых параметров аппаратуры. Существующая система автоматического зависимого наблюдения в качестве дополнительных (уникальных для БПЛА) пакетов, может передавать информацию о настройках светочувствительных элементов БВС, о текущей конфигурации светотехнического оборудования аэродрома и так далее.

Чуть более дорогостоящая, но обладающая не меньшим экономическим и эксплуатационным потенциалом инфраструктура, способная быть размещенной при настоящем развитии технологий, представляет собой систему компьютерного зрения. Аппаратная платформа, как правило, строится на основе комбинации оптических (RGB) и инфракрасных (IR) камер, что позволяет обеспечить работу в широком диапазоне условий освещенности и метеоявлений. Инфракрасные камеры эффективно выделяют тепловое излучение огней на фоне сложного ландшафта в ночное время или при ограниченной видимости. Для оценки глубины сцены могут применяться стереоскопические системы.

Алгоритмический конвейер обработки начинается с этапа предобработки, на котором производится коррекция оптических искажений, фильтрация шумов и нормализация динамического диапазона изображения. Последующая задача детектирования источников света решается методами, адаптированными к условиям высокой засветки и наличию ложных целей. Классические методы, основанные на пороговой сегментации и анализе геометрических признаков, демонстрируют эффективность в контролируемых условиях, однако в сложной обстановке предпочтение отдается методам глубокого обучения. Сверточные нейронные сети (CNN) позволяют достигать высокой точности детектирования и классификации огней различных типов при частичной окклюзии или нестандартных ракурсах.

При совместном использовании одной и той же ВПП для взлета и посадки традиционных управляемых ВС и БПЛА, допускается возможность установки огней, работающих в диапазоне длин волн, не воспринимаемых человеческим глазом, но способных быть отчетливо опознанными системами компьютерного зрения БВС. Используя такой подход можно дополнительно повысить безопасность полетов, снимая с пилотов управляемых летательных аппаратов излишней визуальной нагрузки и уменьшая визуальный «шум», повышая концентрацию и общую собранность членов летного экипажа.

Список использованных источников

1. Международная организация гражданской авиации (ИКАО). Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Аэродромы. Том I. Проектирование и эксплуатация аэродромов [Электронный ресурс]. – 9-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2022.

2. Лучников, И. В., Соколов О. А. Электросветотехническое обеспечение полетов. [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / И. В. Лучников, О. А. Соколов – Университет ГА им. А. А. Новикова, Санкт-Петербург, 2024 г. – 106 с.

3. Белкин, С. Я. Интеграция беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство: проблемы и решения/ С. Я. Белкин, А. В. Петров // Труды ЦАГИ. – 2022.