

ВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

ELECTRO-OPTICAL OBSERVATION WITH UAVS AND OPTIMIZATION OF APPLICATION POSSIBILITIES

**R. Nabiyeu
A. Abdullayev**

Summary. The article presents a final analysis of the conditions for using unmanned aerial vehicles and the results obtained from their application in successfully completing tasks related to search and rescue operations, as well as the observation of strategic objects. The importance of applying advanced technologies in responding swiftly during emergencies, the activities of the team, and determining deployment positions has been substantiated, emphasizing and highlighting the necessity of using unmanned aerial vehicles. It is researched hereby, how unmanned aerial vehicles operate in complex and challenging conditions through the application of technological innovations based on the current operational task.

It has been highlighted that the currently available multirotor, glider, and VTOL-based unmanned aerial vehicles, categorized by weight and size as nano, micro, mini, small, medium, and large, are utilized as primary and auxiliary elements for the digitalization of the integrated use of forces and resources during various international and local search-and-rescue missions, as well as other special tasks and for the integration of the process with artificial intelligence solution. It has been noted that this also plays an important role in the successful completion of the intended operation.

The article also mentions that drones are widely used in aerial reconnaissance and search and rescue missions, in delivering medicines and essential goods to provide medical assistance to the required point within flight restrictions, as well as in monitoring the territory in emergency situations.

Keywords: unmanned aerial vehicles, surveillance, optimization, electro-optical camera, artificial intelligence.

Набиев Расим Насиб оглу

Доктор технических наук, профессор, начальник
отдела Авиационной Электроники Института
Транспорта и Авиакосмических Проблем Национальной
Авиационной Академии Азербайджана, г. Баку
nabiyevrasm@gmail.com

Абдуллаев Анар Ариф оглу

Кандидат физико-математических наук, докторант
отдела Авиационной Электроники Института
Транспорта и Авиакосмических Проблем, Национальная
Академия Авиации Азербайджана, г. Баку
anarcfarov09@mail.ru

Аннотация. В статье анализируются условия использования беспилотных летательных аппаратов для успешной реализации поставленных задач в направлении поиска и спасения, а также наблюдения за стратегически важными объектами и полученные в результате их применения данные. Обосновывается значение гибкого реагирования на чрезвычайные ситуации, деятельности экипажа, а также применения передовых технологий при определении позиций, подчеркивается важность использования беспилотных летательных аппаратов. Исследуется работа беспилотных летательных аппаратов в сложных и трудных условиях с применением технологических инноваций на основании текущей оперативной задачи.

Отмечено, что доступные в настоящее время дроны, планеры и беспилотные летательные аппараты с системой VTOL (вертикального взлета и посадки) малого, среднего и большого размера, делящиеся по весу и размеру на нано-, микро- и мини-мультироторационные, планерные и беспилотные летательные аппараты с системой VTOL, используются в качестве ключевого и вспомогательного элемента для цифровизации комплексного применения сил и инструментов в ходе исполнения многочисленных международных и локальных поисково-спасательных, а также иных специальных операций, интеграции процесса в решение с искусственным интеллектом. Также отмечено, что это играет важную роль в успешном завершении указанных мер. В статье также отмечается широкое применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении воздушной разведки и поисково-спасательных операций, доставке лекарств и предметов первой необходимости для оказания медицинской помощи в необходимые точки в условиях ограниченных полетов, а также для мониторинга местности в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, наблюдение, искусственный интеллект, оптимизация, электронно-оптическая камера.

Введение

Возможность контролировать территорию с помощью электронно-оптической полезной нагрузки (ПН), установленной на дистанционно управляе-

мые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и передавать это видеоизображение на большие расстояния в случаях, когда наблюдение человеком невозможно или затруднено, обусловила большие преимущества этого типа летательных аппаратов [1–3].

Развитие технологий приема, обработки и передачи информации, а также цифровых технологий и искусственного интеллекта привело к значительному улучшению качества изображения, скорости и объема его передачи, а также передаче на большие расстояния. Вместе с тем цифровые технологии имеют свои недостатки, влияющие на эффективность их использования в разведывательной и наблюдательной системах. Электронно-оптические системы, устанавливаемые на дронах, используются, в основном, в следующих целях:

- ведение воздушной электронно-оптической разведки;
- (наблюдения) и передача изображений в реальном времени на пункт управления для контроля оперативной обстановки в интересующем районе;
- получение детальных видеоизображений входящего в круг интересов объекта или района, а также местности, участка и объектов, над которыми осуществляется патрульно-наблюдательный полет;
- в целях получения фото- или видеоизображений объектов, находящихся на местности и визуальное наблюдение которых невооруженным глазом невозможно, измерения расстояния до цели, обеспечения лазерного наведения (подсветки).

Технически электронно-оптические ПН крепятся либо как единая система непосредственно к корпусу самолета посредством собственной конструкции, либо через гироскопически стабилизированную (гиростабилизированную) регулируемую платформу [4–6]. Такая гиростабилизированная система позволяет вращать и управлять электронно-оптической ПН в любом направлении с заданной скоростью. Устойчивая связь конструкции летательного аппарата с осью у ПН и возможность вращения на 360° создают основу для получения стабильных и качественных фото- и видеоизображений высокого разрешения.

Фотоаппараты и электронно-оптические устройства в основном используются для получения изображений передней или остальных сторон дистанционно управляемого летательного аппарата. Для этого при планировании полета наряду с метеорологическими ограничениями следует учитывать высоту полета, влажность воздуха, угол видимости и азимут. Также в зависимости от сезона необходимо строго контролировать угол падения солнечных лучей во время съемки и поворот ПН в сторону шасси летательного аппарата [7, 8].

Применение оптических приборов позволяет решить многие задачи. Известно, что вес и цена такого типа устройств увеличиваются в зависимости от расстояния до цели и качества получаемого изображения наблюдаемой местности (высокое разрешение). Для до-

стижения качественного результата необходимо соблюдение строгих технических требований по стабилизации летательного аппарата во время аэросъемки. Оптические системы без стабилизации на низком уровне поддерживают сопровождение и наблюдение цели методом «наведения». А при попытке внедрения этого режима возникает множество ограничений и трудностей. Более выгодны оптические приборы, размещенные на гиростабилизированных платформах [9, 10]. Специалистами накоплен значительный практический опыт применения данного типа устройств.

Во время полета оптические приборы с гиростабилизированными платформами обеспечивают сопровождение как неподвижной, так и движущейся выбранной цели. Интеграция дневной (ТВ), тепловизионной и инфракрасной (ИК) камеры в одну платформу позволяет получить высокоинформативное изображение. Что гарантирует обработку и преобразование полученного видео- и фотоизображения в аналоговый или цифровой сигнал. Это также позволяет точно определять координаты цели с помощью технологии лазерного дальномера на гиростабилизированной платформе [11]. Если электронно-оптическая ПН дополнительно комплектуется лазерной головкой для наведения управляемых по лазерному лучу ракет и бомб с использованием лазерного генератора (источника энергии), то это увеличивает её вес, стоимость и эффективность.

Цель работы

Оптимизация электронно-оптического наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Разрешающая способность электронно-оптических систем

Под разрешающей способностью цифровой электронно-оптической системы понимается способность этой системы формировать уровень детализации получаемых изображений объектов, расположенных на заданном расстоянии от объектива. Основным фактором, определяющим разрешающую способность электронно-оптических систем, является матрица CCD (*charge-coupled device*, ПЗС — прибор с зарядовой связью), проецирующая полученное изображение после объектива [12, 13].

Источником данных изображения является поверхность земли или воздушное пространство. Угол поля зрения объектива определяет объем информации [14]. Он оказывает сильное влияние на съемки с поверхности земли и воздушного пространства и коэффициент разрешения устройства. Следует отметить, что изображение, выводимое на экран, различается в зависимости от физического состава и цвета просматриваемой обла-

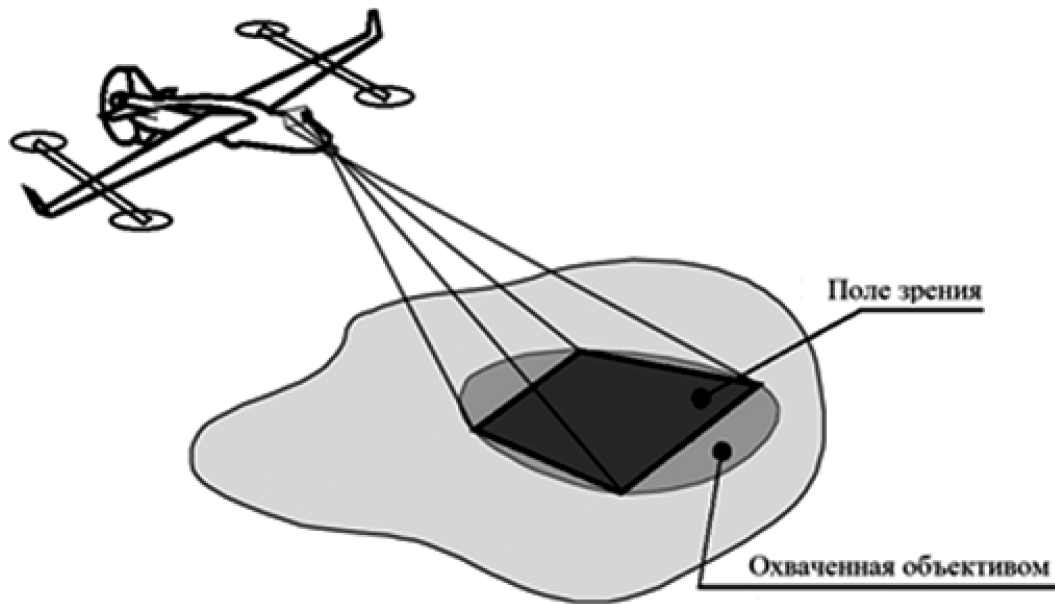


Рис. 1. Поле зрения, формируемое объективом электронно-оптической системы

сти, а также от разницы между изображением на экране и фактическими линейными размерами объектов на земле.

На рисунке 1 показано поле зрения, формируемое объективом электронно-оптической системы. Размеры поля зрения зависят от высоты полета дрона, угла обзора объектива и угла наклона оптической оси объектива.

Из рис. 1 видно, что рассматриваемая область имеет геометрическую форму, физически близкую к трапеции. В качестве первого подхода при расчетах можно использовать вероятность низкой корреляции.

$$\delta = \frac{l}{R_{\text{земля}}} \gg 0.0003 \quad (1)$$

Где l — длина, равная наибольшему линейному размеру рассматриваемой области, $R_{\text{земля}}$ — средний радиус Земли. Из-за наклонного характера поверхности земли кривые (горы и долины) при расчетах принимаются за плоскости. Таким образом, на эффективность применения электронно-оптической системы существенное влияние оказывает тот факт, что реальный вид поверхности Земли не имеет плоскую, ровную поверхностную структуру. Электронно-оптическая ПН беспилотника предназначена для выполнения конкретных функций. Поэтому оценивание электронно-оптических ПН осуществляется на основе поиска, сопровождения типовых объектов, измерения разрешения полученного изображения и пр. возможностей с применением беспилотника [15, 16].

Одним из основных параметров, позволяющий определить необходимую высоту полета в зависимости от возможностей электронно-оптической системы, уста-

новленной на БПЛА, является коэффициент заполнения (рис. 2):

$$K_{\text{doldurma}} = \frac{F_{\text{цель}}}{F} \quad (2)$$

$F_{\text{цель}}$ — площадь целевой зоны, F — площадь зоны обзора (наблюдения).

Величина, указывающая, во сколько раз необходимо увеличить поле зрения, чтобы выбранный объект (цель) был виден и отслеживался на мониторе наблюдения, называется коэффициентом заполнения.

Размер матрицы ПЗС существенно влияет на разрешение изображения, получаемого электронно-оптическим прибором. Так, размер матрицы ПЗС определяет уровень разрешения изображения, поступающего с оптического объектива. Чем больше размер матрицы, тем выше уровень выбора и детализации изображения на экране системы. Для достижения разрешения изображения новой цифровой электронно-оптической системы, близкого к оптической разрешающей способности объектива, необходимо либо иметь очень большую матрицу ПЗС, либо уменьшить угол зрения. Разрешающая способность цифровой электронно-оптической системы (объектив — матрица ПЗС — экран) определяется группой параметров в зависимости от возможности увеличения изображения на экране.

$$R^- = f(L, \beta, \gamma, \varphi, M) \quad (3)$$

Здесь, L — наклонное расстояние до точки на поверхности земли, (β, γ, φ) — изменение угла наблюдаемой точки от оптической оси вправо и влево, вверх и вниз,

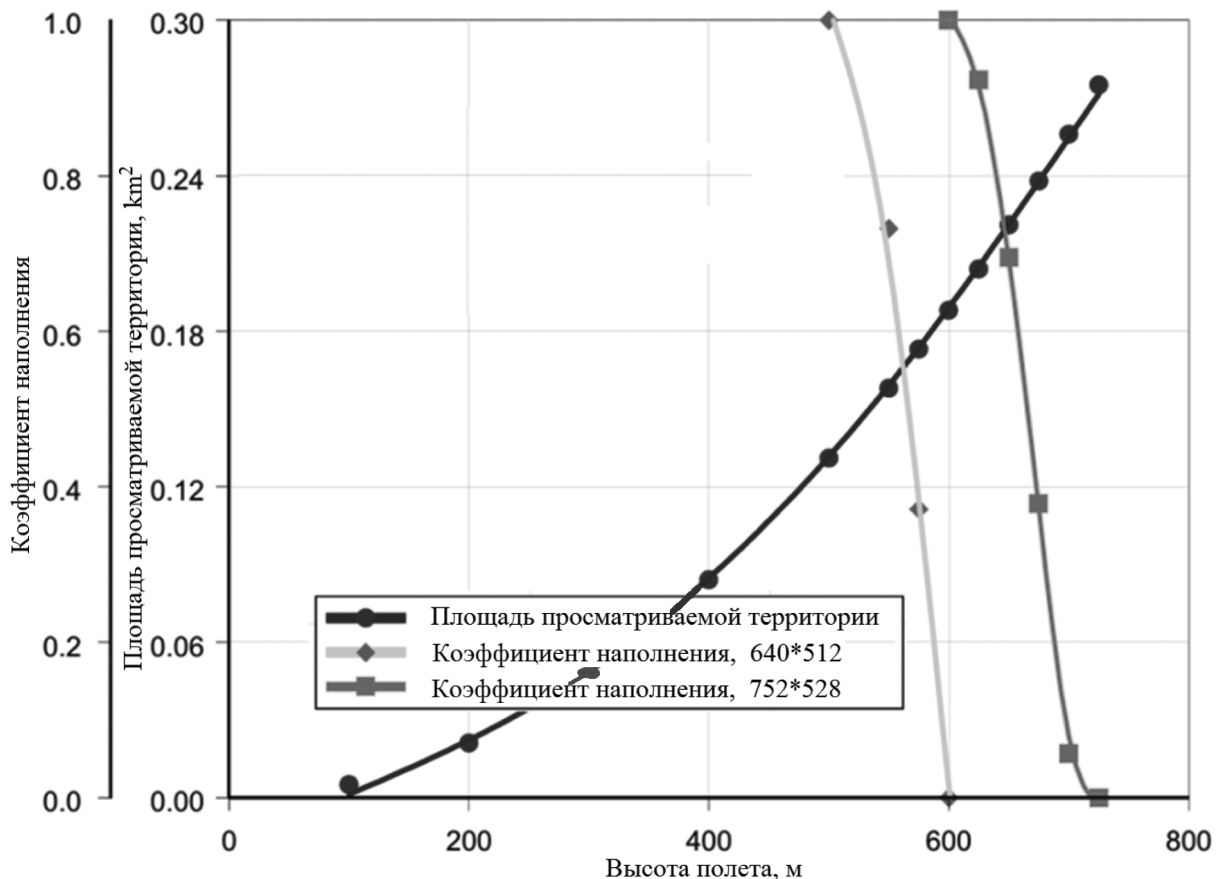


Рис. 2. График зависимости коэффициента заполнения от высоты полета

а также угол наклона оптической оси в нормальной системе координат, M — размер матрицы ПЗС.

Для оценки разрешающей способности цифровой электронно-оптической системы можно использовать изображения объектов, характерных для поиска с помощью дрона.

Продемонстрировать разрешающие возможности электронно-оптической системы можно, рассмотрев соответствующего графического проекта человека на примере объекта «Человек». Размеры проекции совмещены с проекцией матрицы и показаны в виде соответствующей поверхности. В зависимости от размера проекции элемент может иметь размеры в миллиметрах, сантиметрах и метрах матрицы ПЗС по количеству «пикселей» (точек). По этой причине при максимальном увеличении изображения цели «Человек» можно увидеть столько точек, сколько позволяет разрешение [14].

Наблюдение с помощью БПЛА при организации охранных работ

Фактор времени имеет большое значение при стихийных бедствиях, чрезвычайных ситуациях и поисково-спасательных операциях. Применение беспилотника

при проведении спасательных операций повышает уровень эффективности и безопасности поиска (наблюдения), а также сокращает время спасательных работ.

Ключевым подходом при проведении поисково-спасательных операций является правильное планирование маршрута БПЛА и алгоритма наблюдения. На практике для этих целей иногда могут быть использованы принципы выживания, толпы, стадности и пр. [12].

В сценарии с толпой мы можем просто разделить объекты на два типа: дроны и ученики. В этом случае дроны направляют толпу к месту назначения с помощью крика, управления, светофора и пр. Управляющий дрон отслеживает поведение толпы на протяжении всего процесса и обеспечивает ее движение по запланированному маршруту. Дроны для автономной навигации постепенно заменяют модераторов-контролеров.

Чтобы не допустить травмирования учащихся на экстремальных дорогах и в опасных ситуациях, предусматривается использование беспилотников в рамках планирования маршрутов и в возможных спасательных операциях. Для решения этих задач предлагается использовать возможности наведения и поведения беспилотника путем повторения «ориентировочных»

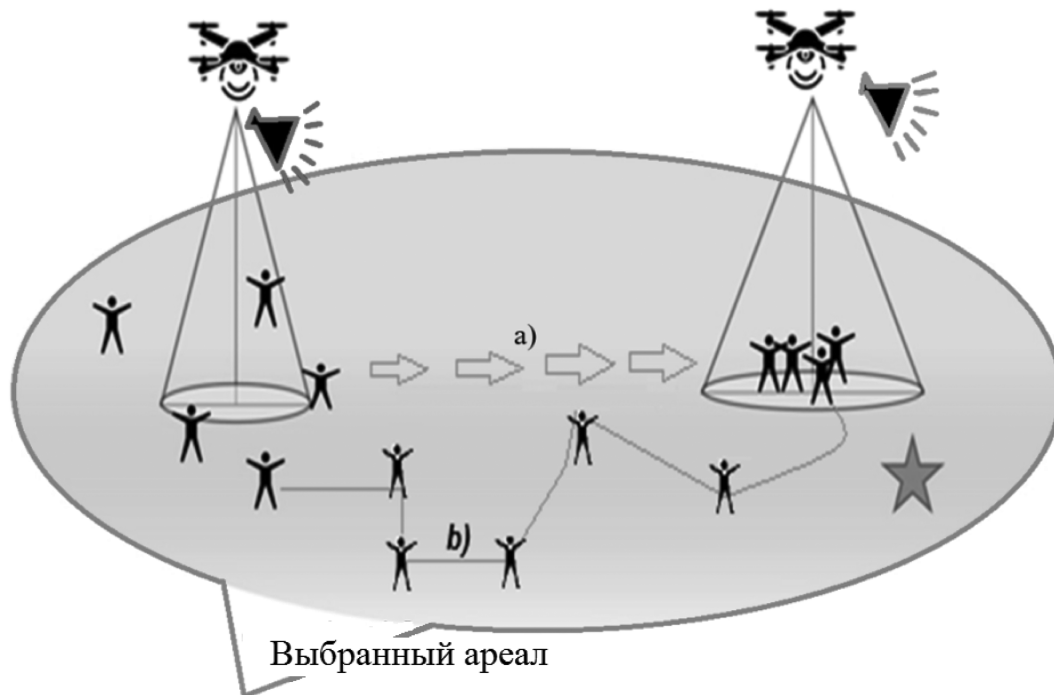


Рис. 3. Сценарии спасения с использованием дронов

движений в полете в направлении «вперед-назад» или «влево-вправо», а также команды «стоп» при зависании в воздухе (рисунок 3) [17-20]. Таким образом, смоделировав в экстремальных случаях аналогичные как в случае с учениками действия, можно уравнивать две проблемы, рассматривая точку эвакуации или безопасную зону как открытую область. При планировании маршрута в безопасную зону была предпринята попытка решить проблему наблюдения и обозрения спасаемых целей путем ее преобразования в задачу, сочетающую эвакуацию и спасение с мониторингом динамики целей (маршрут на рис. 3 а).

Используя модель программного обеспечения искусственного интеллекта, можно описать уравнения динамики толпы людей на основе правила Рейнольдса. Это правило может быть использовано при моделировании жертв катастроф.

Единичные векторы $N_d^-, N_L^-, N_r^-, N_i^-, N_e^-$ характеризуют силу удара по точке сбора учащихся с помощью звукового дрона. Таким образом, сила удара r_a других учащихся, находящихся в это время в этой области, по направлению к центру является инерционной силой движения остальных учащихся относительно других и шумовым элементом учащихся. Затем определяется вектор направления движения учащихся N^- :

$$N^- = \mu_d N_d^- + \mu_L N_L^- + \mu_r N_r^- + \mu_i N_i^- + \mu_e N_e^- \quad (4)$$

Здесь, $\mu_d, \mu_L, \mu_r, \mu_i, \mu_e$ — весовые константы.

Групповое поведение толпы в чрезвычайных ситуациях основывается на четырех основных принципах:

- избегание столкновений;
- координация скорости с другими находящимися поблизости участниками;
- стремление соседних членов быть ближе к центру;
- уклонение от опасности.

Дрон определяет позицию, чтобы в кратчайшие сроки минимизировать расстояние между школьниками и пунктом сбора. Для направления целевых школьников вдоль границы расширенной области в обозначенные точки в центре этой области выбираются оптимальные позиции для дрона или дронов. Эти точки называются точками направления, где учащиеся эффективно собираются в пределах соответствующей расширенной области, и которые дроны могут наблюдать.

На втором этапе для направления наблюдаемых учащихся в назначенные зоны используются оснащенный системой акустической трансляции БПЛА, который издает голосовые команды, а также команды движения БПЛА. С этой целью может быть внедрен алгоритм планирования маршрута, основанный на многоцелевой оптимизации для поисково-спасательных задач (рис. 3 б).

Планирование исследовательской задачи делится на несколько уровней: поиск цели и получение оптимального маршрута путем установления пути сообщения, который минимизирует время достижения этой цели. Здесь с помощью беспилотника создается оптимальный

путь связи с целью, и летательный аппарат направляется в оперативную зону для выполнения спасательных работ наземного персонала. Могут быть предложены инновационные алгоритмы, настраиваемые на расстоянии, соответствующем сфере охвата наблюдения или возможной поддерживаемой линии связи, которые могут быть эффективны во время поисково-спасательных операций. Данная исследовательская работа доказывает осуществимость такого алгоритма [12, 21–24].

Организация наблюдения во время мониторинга и поисково-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях, возникающих на море или в прибрежных водах, осуществляется в соответствии с вышеуказанной моделью деятельности. В этом случае для выявления изменений при поиске на большой площади необходимо определить точные периметры местности, чтобы существенно сократить потребление ресурсов БПЛА. Оптимизация исследования позволяет получить определенные результаты, что имеет большое значение при решении БПЛА поисково-спасательных наблюдательных задач.

При выполнении поисково-спасательных и контрольно-наблюдательных задач на море с использованием дронов вблизи побережья предлагается, чтобы управление дроном осуществлял оператор с наземного пункта управления, расположенного на побережье. Использование дронов при выполнении указанных задач на судах, плавающих в морских водах, неэффективно (изменение координат взлета при возвращении дрона домой из-за движения судна, отсутствие резервной площадки на случай аварийной посадки, резкие порывы ветра и высокая влажность воздуха в открытом море и пр.).

Поскольку быстрые и эффективные поисково-спасательные операции на море имеют первостепенное значение, применение базирующихся на судах беспилотников типа VTOL показало высокую эффективность. Так, доказана целесообразность использования беспилотников типа VTOL, не требующих взлетно-посадочной полосы в море и имеющих гибридные энергетические системы, для контроля нефтегазовых платформ и трубопроводов, охраны границ, обнаружения и предотвращения контрабанды и при выполнении пр. задач [25].

Также возможности БПЛА по передаче данных в режиме реального времени и данные, полученные в результате визуального наблюдения с помощью электронно-оптического прибора, широко используются при управлении особо важными скоординированными операциями и принятии быстрых решений. Так, доказана неизбежность использования БПЛА при решении аналогичных задач, требующих от правоохранительных органов выполнения специальных задач, наблюдения за требующими разрешения оперативными мероприя-

тиями, отслеживания подозрительных лиц и действий, поддержания общественного порядка и оказания экстренной помощи.

Для обеспечения быстрого и оперативного реагирования при решении задач правоохранительных органов необходимо оперативное видеонаблюдение, которое требует широкого охвата пространства наблюдения для обеспечения данными из оперативной зоны в режиме реального времени. В этом случае предлагается разработать схему секторизации контролируемой территории с целью оптимизации динамического наблюдения в пределах размеров оперативного района или сектора наблюдения в зависимости от наблюдательных и разведывательных возможностей используемого дрона.

Для проведения комплексного поиска и наблюдения по интересующему маршруту на территории размещается необходимое количество беспилотников. Помимо контрольно-наблюдательных возможностей, предоставляемых беспилотниками во время городских оперативных мероприятий, они широко используются для патрулирования и контроля инцидентов, происходящих на автомагистралях. Так, возможность реверсировать съемку, полученную с помощью беспилотников, в целях оказания авиационной поддержки, информирования, анализа происшествий и пр. ещё больше увеличивает потребность в них [12, 26].

Поскольку возможности применения дронов прямо пропорциональны продолжительности полета, скорости полета и функциональным возможностям электронно-оптической камеры, существуют различные подходы к решению задачи контроля движущихся целей с помощью БПЛА. В этом случае применение по своему весу и размерам микро- и планеров более высокого класса, а также БПЛА типа VTOL позволяет производить полёт на больших высотах и вести наблюдение за большей территорией. С помощью ПН с электронно-оптическими возможностями (сопровождением с наведением, лазерным дальномером, дневной и ночной тепловизионной камерой, лазерным наведением) можно достичь цели. Кроме того, наблюдение с большой высоты может иметь преимущество, заключающееся в снижении вероятности визуального и акустического обнаружения (скрытность).

Применение дронов имеет большое значение для успешного завершения специальных задач с сохранением скрытности и конфиденциальности. Предлагается реализовать алгоритм скрытного наблюдения путем максимально частого и резкого изменения угла наблюдения и расстояния между дроном и целью. В этом случае дрон управляется на разумном расстоянии от цели, то есть на таком расстоянии, на котором цель не может его обнаружить, даже если будет искать глазами. Также

возможно обеспечить высококачественное наблюдение при динамическом подходе, удерживая дрон над целью или кружа вокруг нее на оптимальной высоте в режиме «захвата» [27].

Важная работа по совершенствованию организации мероприятий по наблюдению с использованием БПЛА

Чаще всего выполнение специальных задач, наблюдение за стратегическими объектами, проведение поисково-спасательных и мониторинговых мероприятий в чрезвычайных ситуациях с помощью беспилотников осуществляются в простых метеорологических условиях и в благоприятной для наблюдения обстановке. Возникает необходимость использования беспилотников с более стабильными техническими характеристиками и безопасностью полетов для ведения наблюдения в городских, морских, сложных по рельефу (горных) районах и прочих условиях эксплуатации [28-31].

С целью обеспечения автономности, навигации и надежной связи в сложной обстановке требуется дополнительная инфраструктура. Для выполнения задач с использованием БПЛА в ходе оперативного планирования или в кризисных ситуациях (ограниченные энергетические ресурсы БПЛА, отсутствие устойчивой навигации и связи в воздухе в закрытых и открытых условиях, а также в условиях радиоэлектронной борьбы, диапазон видимости для визуального наблюдения и лазерное наведение) требуются высокоаналитические расчеты. В целях решения этих задач предлагается использовать БПЛА или дроны с более высокими тактико-

техническими и летно-техническими характеристиками, усовершенствованной системой управления полетом и алгоритмами управления. Основными ограничениями являются энергоемкость аккумуляторных батарей, используемых в качестве источников питания в БПЛА, и лимиты времени полета [8-10].

В целом, необходимо уделить внимание охвату возлагаемых на дроны задач по поиску и спасению, мониторингу, а также наблюдению за стратегическими объектами, непрерывному выполнению операций, получению более совершенных возможностей с применением систем в чрезвычайных ситуациях, выносливости и надежности систем дронов, а также потенциалу расширения с будущим развитием систем.

Заключение

1. При выборе электронно-оптической системы для беспилотного летательного аппарата необходимо тщательно учитывать её назначение, задачи и области применения;
2. Наличие на борту беспилотных летательных аппаратов самой современной электронно-оптической системы не гарантирует ее успешного применения на практике и высокого КПД;
3. Использование нано-, микро— и мини-беспилотных летательных аппаратов не считается целесообразным при выполнении задач по наблюдению, поиску и разведке на больших территориях;
4. Высока вероятность достижения успешного результата при наблюдении с помощью беспилотного летательного аппарата за целью с заранее известными координатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. R.N. Nabiyeu, G.I. Garayev and A.A. Abdullayev. Conceptual functional design of hybrid energy source of unmanned convertiplane. Proceedings of the IOP Conference Series: Conference Scopus. Materials Science and Engineering. 862, 022043, 2020, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/2/022043>
2. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. Structural drafting of convertiplane-type unmanned aerial vehicle. Norwegian Journal of development of the International Science, №94, 2022, pp. 45–51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198424>
3. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. (2024) On-board control-measurement system for micro convertiplane-type unmanned aerial vehicles. Eurasian Physical Technical Journal. 21, 2(48), 61–69. <https://doi.org/10.31489/2024No2/61-69>
4. A.A. Abdullayev. Flight study of VTOL micro UAV in different flight modes with on-board control-measurement system. International Conference on Artificial intelligence: from theory (AICON-2024), 17–18 september 2024, Nakhchvan, Azerbaijan. pp. 271–277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031849>
5. Nabiyeu R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024) E3S Web of Conf. Volume 592, 06024 (2024), DOI: 10.1051/e3sconf/202459206024
6. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev, et.al. Determination of the center of gravity of an unmanned aerial vehicle of a tiltrotor type. Izvestiya SfedU. Engineering sciences, № 5 (229), 2022, pp.258–268, DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-258-268
7. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev, et. al. Requirements for unmanned aerial vehicles on multi-rotational basis. Journal Aerospace Instrument-Making, M. 2018. № 9, pp. 3–11, DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2018.166
8. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev, et.al. Comparative analysis the features of the lithium-based accumulator batteries. Journal Aerospace Instrument-Making, M. № 9. 2019, pp. 42–55. DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2019.867
9. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. Analysis of the features of hydrogen as an energy source. Journal Aerospace Instrument-Making, M. 2021. № 3. pp. 41–58. DOI: 10.25791/aviakosmos.3.2021.1211
10. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. Processing a Conceptual Functional Diagram of an Unmanned Convertiplane With a Hybrid Energy Source. Journal Aerospace Instrument-Making, M. №5. 2021, pp. 03-18, DOI: 10.25791/aviakosmos. 5.2021.1217

11. R.N. Nabiyeв and A.A. Abdullayev. Research of the basic aerodynamic parameters of the unmanned aircraft planer of convertoplan type. *Journal Aerospace Instrument-Making*, M. № 4, 2022, pp. 17–33, DOI: 10.25791/aviakosmos.4.2022.1274
12. Fang, Z.; Savkin, A.V. Strategies for Optimized UAV Surveillance in Various Tasks and Scenarios: A Review. *Drones* 2024, 8, 193. <https://doi.org/10.3390/drones8050193>
13. Madderн W., Pascoe G., et.al. Real-time Kinematic Ground Truth for the Oxford RobotCar Dataset.
14. Rastopcи V.V., Dmitriev M.L. Primenenie cifrovix opticeskix sistem dlya bespilotnix apparatov. http://uav.ru/articles/opteq_uav.pdf.
15. Rastopcи V.V. Elementarnie osnovie ocenki effektivnosti primeneniya bespilotnix avioconnix sistem dlya vozdushnoy razvedki: www.uav.ru, 2006. 15 c.
16. E.Evgeniy. Bespilotnie letetelnoe apparati i zashita granic. <http://uav.ru/articles/granitsa.pdf>.
17. D.Magdalena and T. Piotr et.al. Hybrid Fuel Cell — Battery System as a Main Power Unit for Small Unmanned Aerial Vehicles (UAV). *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8 (2013) 844–8463.
18. Gailler, L.; Labazuy, P.; et.al. Validation of a New UAV Magnetic Prospecting Tool for Volcano Monitoring and Geohazard Assessment. *Remote Sens.* 2021, 13, 894. <https://doi.org/10.3390/rs13050894>
19. Evans, I.; Jones, T.H.; Pang, K.; et.al. Use of drone technology as a tool for behavioral research: A case study of crocodilian nesting. *Herpetol. Conserv. Biol.* 2015, 10, 90–98.
20. M. Hassanalian, D. Rice, A. Abdelkefi. Evolution of space drones for planetary exploration: A review. *Progress in Aerospace Sciences* 97 (2018), 61–105 p.
21. Linchant, J.; Lisein, J.; et.al. Are unmanned aircraft systems (UAS s) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Rev.* 2015, 45, 239–252.
22. Groves, P.A.; Alcorn, B.; Wiest, et.al. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys. *Facets* 2016, 1, 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
23. Chio, S.H.; Lin, C.H. Preliminary Study of UAS Equipped with Thermal Camera for Volcanic Geothermal Monitoring in Taiwan. *Sensors* 2017, 17, 1649. <https://doi.org/10.3390/s17071649>
24. Wakeford, Z.E.; Chmielewska, M.; et.al. Combining thermal imaging with photogrammetry of an active volcano using UAV: An example from Stromboli, Italy. *Photogramm. Rec.* 2019, 34, 445–466. <https://doi.org/10.1111/phor.12301>
25. Hodgson, J.C.; Koh, L.P. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Curr. Biol.* 2016, 26, R404–R405.
26. Huang, H.; Savkin, A.V.; Huang, C. *Autonomous Navigation and Deployment of UAVs for Communication, Surveillance and Delivery*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2022.
27. S. Joachim. Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme. «Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft». Die Dissertation wurde am 12.12.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.07.2014 angenommen. 2013, 188 p.
28. R.N. Nabiyeв and A.A. Abdullayev. Optimizaciya nablyudatelnix vozmojnostey БнЛА. *Estestbennie i texniceskie nauki*. M, №2 (201), 2025, pp. 258–268, <https://doi.org/10.25633/ETN.2025.02.19>
29. Wich, S., Dellatore, D. et.al. A preliminary assessment of using conservation drones for Sumatran orang-utan (*Pongo abelii*) distribution and density. *J. Unma. Veh. Syst.* 2015, 4, 45–52. <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0015>
30. Abdullayev, A. Flight study of VTOL micro UAV in different flight modes with on-board control-measurement system. *International Conference on Artificial intelligence: from theory (AICON-2024)*, 17–18 september 2024, Nakhchvan, Azerbaijan. pp. 271–277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031849>

© Набиев Расим Насиб оглу (nabiyevrasim@gmail.com); Абдуллаев Анар Ариф оглу (anarcafarov09@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»