

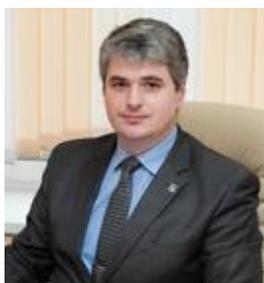
УДК 631.95; 629.735

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ОБЩЕСТВЕННОЙ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



А.Г. Давыдовский

Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики факультета компьютерного проектирования БГУИР, кандидат биологических наук, доцент



Д.В. Лихачевский

Декан факультета компьютерного проектирования БГУИР, кандидат технических наук, доцент



С.К. Дик

Первый проректор БГУИР, кандидат физико-математических наук, доцент



К.Д. Яшин

Зав. кафедрой инженерной психологии и эргономики факультета компьютерного проектирования БГУИР, кандидат технических наук, доцент



Л.П. Варламова

Ташкентский университет информационных технологий имени аль-Хорезми, кандидат технических наук, доцент



Ж.А. Тажиев

Ташкентский университет информационных технологий имени аль-Хорезми, старший преподаватель

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь,

Ташкентский университет информационных технологий имени аль-Хорезми, Ташкент, Республика Узбекистан.

E-mail: agd2011@list.ru; likhachevskyd@bsuir.by; yashin@bsuir.by

А.Г. Давыдовский

Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики факультета компьютерного проектирования БГУИР, кандидат биологических наук, доцент. Специальность «Биология». Окончил докторантуру БГУИР по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации». Проводит научные исследования в области социальной информатики, математического моделирования биологических и биосоциальных систем, методологии превентивного управления рисками в социотехнических и

инновационных производственных системах. Член ряда международных научных обществ. Автор учебных программ и пособий для студентов и магистрантов.

Д.В. Лихачевский

Декан факультета компьютерного проектирования. Доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем ФКП БГУИР. Специальность «Телекоммуникационные системы». Проводит научные исследования в области телекоммуникационных систем и технологий, антенных и сверхвысокочастотных устройств, организации и управления инновационными образовательными системами. Руководит научной работой студентов I и II ступеней высшего образования. Является организатором и руководителем ряда международных научных и научно-практических форумов.

С.К. Дик

Первый проректор БГУИР. Основные научные интересы связаны с исследованиями в области лазерной медицины и биомедицинской оптики, оптики спеклов, средств медицинской электроники и новых биомедицинских технологий. Руководит научной работой магистрантов и аспирантов. Сопредседатель организационных комитетов и член программных комитетов многих научных конференций. Один из инициаторов и организаторов проведения в БГУИР регулярной Международной научно-технической конференции «Медэлектроника. (Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии)» и Международной научно-практической конференции «Big Data and Predictive Analytics. Использование Big Data для оптимизации бизнеса и информационных технологий».

К.Д. Яшин

Заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики факультета компьютерного проектирования. Специальность «Физическая химия полупроводников». Автор многих научных работ и практических разработок в области микросистемной техники. Проводит научные исследования в области актуальных проблем развития систем «человек-машина-среда», актуальных проблем инженерной психологии и эргономики, применения современных информационных технологий в обеспечении производственной безопасности. Руководит научной работой студентов I и II ступеней высшего образования. Изобретатель СССР, Автор многих изобретений. Один из организаторов Международных научно-практических конференций по проблемам «больших данных».

Л.П. Варламова

Доцент Ташкентского университета информационных технологий имени аль-Хорезми. Область научных интересов – исследования направлений развития робототехники и беспилотных авиационных систем, а также их приложений.

Ж.А. Тажиев

Старший преподаватель Ташкентского университета информационных технологий имени аль-Хорезми. Область научных интересов – исследования направлений развития робототехники и беспилотных авиационных систем, а также их приложений.

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы применения беспилотных летательных аппаратов для решения задач обеспечения общественной, промышленной и экологической безопасности на современном этапе развития технологий беспилотной авиации. Представлены современные подходы к классификации беспилотных летательных аппаратов и охарактеризованы их преимущества по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами. Рассмотрены перспективные направления применения беспилотных летательных аппаратов в обеспечении общественной, промышленной и экологической безопасности. Представлена организация беспилотного авиационного комплекса для экологического биомониторинга. Охарактеризованы различные аспекты видеоаналитики в обеспечении пожарной безопасности территорий и опасных производственных объектов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, классификация летательных аппаратов, общественная, промышленная, экологическая безопасность, пожарная безопасность, экологический биомониторинг.

Введение. На рубеже XX и XXI столетий для решения практических задач мониторинга угроз общественной, промышленной и экологической безопасности широко используются беспилотные летательные аппараты (БЛА) различных типов и конструкций. В настоящее время БЛА интенсивно разрабатываются и производятся в США, Италии, Китае

Японии, Южной Кореи, Бразилии, Германии, России, Франции, Израиле, Австралии, Швеции, Великобритании, Новой Зеландии и в других. Лидерами в производстве БЛА на данный момент считаются – США, Япония, Китай, Германия и Франция, но большую часть произведенных БЛА предназначены для военных целей. Вместе с тем, БЛА все более широко применяются для нужд многих министерств и ведомств, деятельность которых сопряжена с профилактикой и ликвидацией чрезвычайных ситуаций, обеспечения обороны и национальной безопасности, правопорядка и социальной стабильности Министерства промышленности, сельского хозяйства и продовольствия, экологии и природных ресурсов, а также специальных служб для длительного авиационного патрулирования земной и водной поверхности, поиска пропавших людей, мониторинга опасных производственных объектов (ОПО), агропромышленных систем, пожароопасной обстановки, а также противоправных действий отдельных лиц и преступных группировок [1, 2]. Выполнение вышеуказанных задач осуществляется благодаря использованию в БЛА систем радиолокационного, лазерного (лидарного), спектрального оптико-электронного, телевизионного и тепловизионного мониторинга земной и водной поверхности, а также воздушной среды. Все эти виды мониторинга применяются для наиболее оперативного телевизионного обследования промышленных площадок ОПО и прилегающей территории. При этом фотосъемка имеет преимущество над обычной видеосъемкой ввиду более высокого разрешения. Посредством специальной спектрометрической оптико-электронной аппаратуры снимка можно обнаружить утечки газов и жидкостей, участки коррозии трубопроводных систем, осуществлять дистанционный контроль ОПО. Тепловизионная съемка позволяет вести наблюдение ОПО и местности в условиях ограниченной видимости и в темное время суток. Сочетание различных видов мониторинга позволяет наиболее полно оценить состояние объекта или местности. Количество измеряемых величин зависит от числа установленных датчиков, которые, в свою очередь, ограничиваются грузоподъемностью БЛА. К наиболее распространенным измеряемым параметрам относятся температура и влажность воздуха, почвы, воды. Среди перспективных измерений — отборы проб воздуха (концентрации малых газовых составляющих, например, парниковых газов), почвы, воды, накопительные фильтры для пыли и другое [3].

При конструировании беспилотных авиационных комплексов предусмотрена модульная архитектура, что позволяет оперативно транспортировать БЛА в демонтированном виде, а также оперативно заменять блоки бортового оборудования на борту БЛА при подготовке к полету. Кроме того, оперативность проведения мониторинга обеспечивается наличием каналов связи, функционирующих в режимах on-line и real-time между бортом БЛА и мобильным или стационарным пунктом управления, на котором осуществляется планирование полётов и обработка полученных результатов.

Цель работы – анализ возможностей и проблем применения беспилотных летательных аппаратов для обеспечения общественной, промышленной и экологической безопасности на современном этапе научно-технологического развития беспилотных авиационных систем и технологий.

Классификация беспилотных летательных аппаратов. Принятые в последнее время подходы предусматривают классификацию существующих типов и конструкций БЛА по таким критериям как [1, 4]: принцип создания подъемной силы; технические характеристики; тип питания силовой установки; используемая полезная (целевая) нагрузка; тип системы автоматического управления; система предотвращения столкновений с препятствиями в воздухе; тип навигации; способам защиты от глушения радиосигналов; особенности пропускной способности радиочастотного спектра каналов передачи данных; бортовая обработка данных; специализация программного обеспечения.

Причем по принципу создания подъёмной силы БЛА могут быть классифицированы: –на самолёты по конструкции крыла (с жёстким и мягким крылом);

- самолёты вертикального взлёта и посадки;
- автожиры;
- вертолёты;
- аэростатические управляемые аппараты-дирижабли (тепловые, газонаполненные);
- гибридные с использованием аэростатического принципа;
- ракеты.

Согласно российской классификации, которая ориентирована преимущественно пока только на военное назначение аппаратов, БЛА можно систематизировать следующим образом [5, 6]:

- микро- и мини-БЛА ближнего радиуса действия с взлётной массой до 5 кг и дальностью действия до 25-40 км;
- лёгкие БЛА малого радиуса действия с взлётной массой 5-50 кг и дальностью действия 10-70 км;
- лёгкие БЛА среднего радиуса действия с взлётной массой 50-100 кг и дальностью действия 70-150 (250) км;
- средние БЛА, среднетяжёлые и тяжёлые БЛА с взлётной массой от 100 кг и дальностью действия от 70 км.

В настоящее время наиболее широко используемой является классификация малоразмерных БЛА на основе их лётно-технических характеристик, согласно которой могут быть выделены микро-, мини-, миди- и тяжёлые БЛА:

- 1) к микро-БЛА относятся летательные аппараты массой до 10 кг, с временем полёта около 1 ч и высотой до 1 км, которые используются для решения задач экологического мониторинга окружающей среды и обеспечения экологической безопасности;
- 2) мини-БЛА характеризуются массой до 50 кг, временем полёта несколько часов и высотой до 3–5 км;
- 3) миди-БЛА имеют массу до 1000 кг, характеризуются временем до 10–12 ч и высотой полета до 9-10 км.
- 4) тяжёлые БЛА имеют массу более 1 т, высоты полёта до 20 км и времени полёта до 24 ч и более.

Для обследования близкорасположенных объектов, нуждающихся в детальном изучении, подойдут БЛА вертолётного типа малой дальности. Для этих целей наиболее целесообразным является применение в первую очередь БЛА вертолётного типа (мультикоптеров). Конструкция этих аппаратов позволяет им подниматься вертикально вверх, что обеспечивает получение вертикальных профилей метеорологических величин — во время подъема и во время снижения. Для решения задач экологического биомониторинга могут быть успешно применимы БЛА с взлётной массой до 20 кг и грузоподъемность до 5 кг, высотой полета до 200 метров и дальностью полета до 30 км.

Области применения беспилотных летательных аппаратов для обеспечения общественной, промышленной и экологической безопасности. Обеспечение общественной безопасности с помощью БЛА включает такие области как [7, 8]:

- охрана и активная защита рубежей государств и легитимных территориальных образований;
- комплексная электронная разведка и борьба с наркотрафиком, каналами торговли людьми, контрабанды и нелегальных поставок оружия;
- выявление и задержание одиночных нарушителей общественной безопасности, а также преступных групп и их организаций;
- обнаружение посторонних лиц и технических объектов на охраняемых территориях;
- координация и обеспечение действий наземных групп и подразделений правоохранительных органов и специальных служб;

– выявление несанкционированного отбора углеводородного сырья из трубопроводов и топливозапасников.

Применение БЛА в обеспечении промышленной безопасности направлено на решение таких комплексных вопросов, как:

– дистанционный мониторинг и обнаружение различных динамических объектов: одиночных правонарушителей и их групп, а также летательных аппаратов в условиях природных ландшафтов и мегаполиса, автомобилей, моторных лодок, катеров и их караванов, автомобилей, загрязнений участков суши и водоёмов, плавающего мусора, очагов возгорания и пожаров, участков наводнений, разливов нефтепродуктов, задымлений и изменений растительного покрова;

– биомониторинг экологического состояния окружающей среды вдоль трассы трубопровода, обнаружение мест и объемов подземных и наземных разливов нефти и утечки других углеводородов;

– оценка технического состояния трубопроводов, выявление повреждений гидро- и теплоизоляции;

– обследование околотрубного пространства, изучение влияния разломов, трещин и движений земной коры, обнаружение обводненных участков, коррозионно-опасных сред и оттаивающих грунтов.

– контроль аварийных и нештатных ситуаций на опасных объектах (ОПО) техносферы;

– контроль над выполнением строительных и ремонтных работ.

В настоящее время наиболее перспективными для мониторинга общественной, промышленной и экологической безопасности представляется использование БЛА не столько самолётного, сколько вертолётного типа. Выбор того или иного типа БЛА зависит от характеристики объекта исследования, потребности в передаче данных в режиме реального времени и типа данных, определяемых поставленной задачей. В частности, для воздушного мониторинга технического состояния и безопасности нефте-, газо- и продуктопроводов, имеющих большую протяженность, эффективнее использовать БЛА самолетного типа средней и большой дальности. Высокая устойчивость и хорошая управляемость допускают использование БЛА в сложных метеоусловиях и с ограниченных площадок [8–10].

В настоящее время одной из перспективных сфер применения БЛА является гидрометеорологический мониторинг водного и воздушного бассейна. Здесь актуален контроль загрязнений воздуха, почвы, водных источников продуктами жизнедеятельности животных, нерационального использования удобрений и техники [9, 10].

На рисунках 1 и 2 представлены кадры телевизионного мониторинга объектов линии электропередач с БЛА.



Рисунок 1. Кадр телевизионного мониторинга линии электропередач с БЛА (дистанция – более 1 км)



Рисунок 2. Кадр телевизионного мониторинга состояния опорной мачты линии электропередач с БЛА (дистанция – менее 100 м)

Кроме того, БЛА могут быть успешно использованы для мониторинга объектов топливно-энергетического комплекса, трубопроводных систем для транспортировки углеводородного сырья, разливов нефтепродуктов, состояния и целостности объектов ядерного топливно-энергетического комплекса, линий электропередач и др. Так, экономически выгодным и безопасным является оперативное использование БЛА для аэроразведки мест природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, включая мониторинг окружающей среды после радиационных аварий на объектах атомной энергетики и промышленности.

11 марта 2011 г. на северо-востоке Японии после землетрясения магнитудой 9,0 произошла авария на АЭС «Фукусима-1». Вслед за подземными толчками на побережье пришла 14-метровая волна цунами, которая затопила четыре из шести реакторов АЭС и вывела из строя систему их охлаждения, что привело к серии взрывов водорода, расплавлению активной зоны. На первом и третьем блоках была повреждена крыша. Авария стала крупнейшей за последние 25 лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Произошли утечки радиации в атмосферу и морскую воду. Полная ликвидация последствий, включая демонтаж реакторов АЭС Фукусима-1, займет около 40 лет [11]. Как сообщило медиаагентство ИТАР-ТАСС, в Японии был разработан прототип БЛА для мониторинга радиационного фона в районе аварийной АЭС Фукусима-1. БЛА имеет округлую форму и оснащен шестью двигателями. В его ударопрочный корпус встроены камера и несколько дозиметров. Беспилотник может совершать полеты в полностью автономном режиме. В настоящее время в атомной энергетике БЛА различных типов находят все более широкое применение для измерения радиационного фона в труднодоступных местах зданий и сооружений предприятий ядерного топливно-энергетического цикла, а также мониторинга конструкций и состояния линий электропередач [11, 12]. На рисунке 3 представлено разворачивание БЛА для радиационного мониторинга местности рядом с АЭС «Фукусима-1», а на рисунке 4 – кадр аэровидеомониторинга АЭС «Фукусима-1» с борта БЛА на дистанции около 400 м.



Рисунок 3. Развертывание БЛА для радиационного мониторинга местности рядом с АЭС «Фукусима-1» [11]



Рисунок 4. Кадр аэровидеомониторинга АЭС «Фукусима-1» с БЛА (дистанция около 400 м). Видны значительные внешние повреждения третьего и четвертого энергоблоков [12]

Огромные перспективы развития беспилотных авиационных комплексов гражданского назначения связаны с их эксплуатацией в агропромышленном комплексе для целей формирования и непрерывного обновления электронных карт и планов обрабатываемых земель, учета сельскохозяйственных угодий, планирования посевных работ по производственным участкам, контроля объема и качества проведения полевых работ, проведения

оперативного мониторинга состояния посевных культур, оценки всхожести сельскохозяйственных культур, прогноза урожайности сельскохозяйственных культур, контроля качества сбора урожая и заготовки кормов для скота, наблюдения за состоянием пастбищ, учета животных, выявления болезней сельскохозяйственных животных, охраны скота [2, 13, 14].

По данным отчета AUVSI «Экономическое влияние интеграции беспилотных систем в Соединенных Штатах («The Economic Impact of Unmanned Systems Integration in the United States») сообщается о том, что применения БЛА в сельском хозяйстве будут преобладать над всем остальными применениями и к 2025 году около 80% рынка беспилотных машин (дронов) будет занято в сельском хозяйстве США [15]. Другим направлением применения БЛА является авиамониторинг лесных угодий, маршрутов миграции животных, пролетов птиц и насекомых, а также очагов болезней лесных растений и древесных пород, имеющих промышленное значение.

Беспилотный авиационный комплекс экологического биомониторинга. Многие задачи экологического биомониторинга могут быть успешно решены с использованием беспилотных специализированных комплексов. Предназначенный для целей экологического биомониторинга беспилотный авиационный комплекс содержит:

1) стационарный, либо один или несколько мобильных центров управления полетом БЛА;

2) несколько специализированных БЛА, оснащенных датчиками и пробоотборниками для анализа твердых, жидких и газообразных образцов из окружающей среды, например, воздуха, воды и почвы;

3) распределенную систему управления полетом, элементы которой находятся как на борту БЛА, так и на борту мобильных пунктов управления, или в стационарном центре управления полетом;

4) информационную систему видеобзора, которая может предусматривать в своем составе модули с возможностями радиолокационного, оптико-спектрального, лидарного, телевизионного и тепловизионного (инфракрасного – ИК) сканирования земной поверхности и окружающей среды;

5) комплекс датчиков экспресс-анализа состояния среды;

6) микропроцессорный комплекс для обработки и хранения информации;

7) комплекс связи для интенсивной передачи больших объемов информации в центр обработки данных (ЦОД) по радио- или оптико-электронному каналу;

8) комплекс средств навигации группы БЛА на основе позиционирования с помощью системы GPS-ГЛОНАСС;

9) работающие и запасные бортовые источники электропитания, или электрогенераторы.

Подобная система экологического биомониторинга на основе беспилотного авиационного комплекса, использующего группу специализированных БЛА, представлена на рисунке 5. Так, если объектом экологического биомониторинга является территория сложного рельефа, имеющая складки местности, временные водоёмы, то на БЛА могут быть дополнительно установлены зонды 5, 6, 7 для забора жидких, твердых и газообразных проб среды. При этом каждый БЛА оборудуется поплавками 8 для возможности посадки его на водную или заболоченную поверхность.

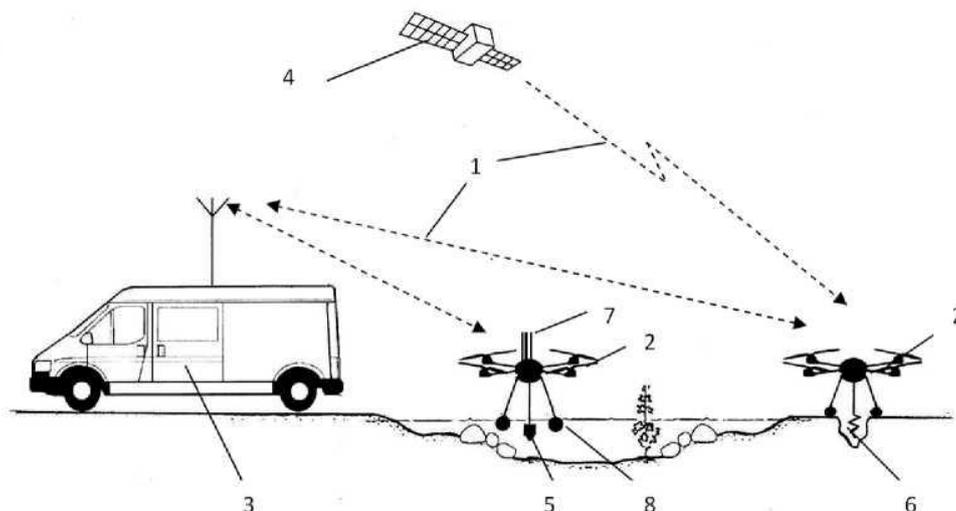


Рисунок 5. Схема системы экологического биомониторинга с использованием БЛА [2] (здесь: 1) радиоканал связи; 2) БЛА; 3) мобильный пункт управления полетом БЛА; 4) спутник навигационной системы GPS-ГЛОНАСС; 5) зонд для забора жидких сред; 6) зонд для забора твердых сред; 7) зонд для забора газообразных сред; 8) поплавок)

В режиме полного экобиомониторинга территории подобная система работает в автоматическом режиме следующим образом. БЛА вертикального взлёта и посадки в заданный промежуток времени взлетает с территории стационарной экологической биолaborатории и по программе полета имеющейся в системе управления полетом облетает обследуемую территорию на основе позиционирования с помощью системы GPS-ГЛОНАСС.

Оператор направляет БЛА к объекту экобиомониторинга, производит видеобзор пространства и сканирование поверхности земли, датчиками экспресс-анализа производит измерения параметров среды с использованием зондов и результаты исследований передаются по радиоканалу на мобильный пункт управления или передаются в устройство для обработки и хранения. После набора высоты БЛА оператор осуществляет видеобзор и сканирование поверхности земли, с использованием датчиков экспресс-анализа производит измерения параметров среды с последующей трансляцией результатов экобиомониторинга по радиоканалу в ЦОД, связанным с центром управления полетом, или же на внешние информационные базы для обработки и хранения. При необходимости используют зонды забора жидких, твердых или газообразных сред для взятия пробы и доставки на мобильный пункт управления для углубленного анализа. Для увеличения радиуса действия БЛА и более эффективного использования полетного времени в процессе экобиомониторинга, БЛА могут производить автоматическую посадку на пункты подзарядки источников питания, обозначенные радиомаяками, и производит зарядку [3, 4].

Развитие технологий зондирования с помощью БЛА позволит не только получить значительный объем качественных данных для исследований, но и позволит проводить валидацию данных на новом уровне. Наиболее подходящими по своим характеристикам являются аппараты мини и легкого класса способные нести комплект оборудования массой до 5 кг и радиусом действия до 30–50 км, что позволяет контролировать одному аппарату с периодическим облетом территорию площадью до 3000 кв.км. Необходима активизация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию специализированных комплексов измерительных средств параметров среды (экологической обстановки) и экобиомониторинга последствий применения агротехнологий с использованием БЛА для решения задач точного земледелия [9].

Особого внимания заслуживает разработка важной проблемы обеспечения энергоресурсами беспилотных авиационных комплексов для экобиомониторинга, поскольку они выполняют свои функции на значительном удалении от баз технической поддержки в течение продолжительного времени.

Также представляется целесообразным выполнение комплекса научно-исследовательских работ по обоснованию конструктивных и технико-экономических параметров БЛА для проведения экобиомониторинга в различных природно-климатических и производственно-технологических условиях, их спецификации и состава необходимого специального оборудования, а также разработка продвинутых высокотехнологичных методик контроля параметров окружающей среды с использованием БЛА в урбанизированной среде современных мегаполисов [2–4].

Видеоаналитика пожарной безопасности территорий и опасных производственных объектов. Важной проблемой обеспечения промышленной и экологической безопасности является пожарная охрана различных объектов и территорий – обеспечение автоматизированного оперативного обнаружения возгораний с использованием технологий БЛА. Современным трендом является расширяющееся применение видеотехнологий в задачах обеспечения пожарной безопасности, все чаще характеризуемая как «видеоаналитика». Разрабатываемые видеодетекторы могут обнаруживать пожар в помещении и на открытых площадках автоматически по специфическим признакам на изображении, позволяя оценивать ситуацию на производственном объекте. Большинство автоматических систем видеоаналитики основано на компьютерной обработке изображений и анализе их изменений. При этом видеодетекторы могут использоваться в случае, если обычные сигнализаторы пожара не применимы. Разработчики приводят данные, согласно которым вероятность ложного срабатывания составляет <1 %, а дальность распознавания – 10 км для области дыма размером 10x10 м [9, 10, 16]. Видеосистемы со специальным программным обеспечением представляют собой значительно более дешевую альтернативу тепловизорам, которые в принципе способны определять тепловые объекты на расстоянии 10–15 км, в том числе в ночное время, но из-за высокой цены, как правило, не используются для обнаружения возгораний. Для мониторинга и идентификации очагов возгорания и пожара на видеоизображении может быть предложена адаптивная модель фона наблюдаемой видеокамерой области и обобщенная цветовая модель пожара на основе статистического анализа выборки изображений, содержащих пиксели пожара, с последующей передачей по радио- или оптико-электронным каналам в ЦОД. В дальнейшем видеоизображения могут подвергаться обработке с помощью технологий Big Data для распознавания образов с целью выявления потенциальных очагов возгорания или фактических обнаруженных очагов возгорания и пожаров. При этом могут быть использованы как ресурсоемкие высокоскоростные каналы передачи данных, так и экономичные низкоскоростные каналы связи, для которых требуется значительно меньшая ширина канала, так как первичная обработка потоков передаваемых текущих данных в режиме «on-line» и «real-time» осуществляется микрокомпьютерной системой БЛА. Вместе с тем, предшествующие записи могут быть сохранены с помощью циклического буфера с последующей отправкой в ЦОД и автоматическим сохранением в течение длительного времени. Для видеомониторинга очагов возгорания и пожара могут быть использованы хорошо известные камеры наблюдения размером 3,1 мегапикселя (2048x1536), позволяющие получать изображения с частотой до 20 кадр/с. причем для обеспечения надежной пожарной охраны ОПО или площадного объекта вполне достаточна частота видеомониторинга 2–4 кадр/с. Целесообразно, чтобы БЛА, предназначенные для мониторинга пожарной безопасности, обладали децентрализованной архитектурой, позволяющей управлять устрой-

ством видеозаписи «по событию» и использовать стандартные недорогие и надежные сетевые устройства, не требующие специального программного обеспечения, что оптимально при малой пропускной способности беспроводной сети [10, 16].

Для систем комплексного мониторинга наземных, водных и воздушных объектов важнейшее значение имеет детектирование эффективной поверхности рассеивания (ЭПР), отражения (ЭПО) или испускания (ЭПИ). При этом в микропроцессорной системе БЛА может быть сформирована непрерывно корректируемая эталонная карта интенсивности отраженных (поглощенных) сигналов или излучения на основе интегрирования ЭПР, ЭПО и ЭПИ в параметрах сканирования и элементах разрешения эталонной карты, формируемой с помощью измерительного комплекса, включающего радиолокационную и оптико-электронную станцию БЛА. В одном элементе разрешения измерительного комплекса отражательная (излучательная) способность $S_{отр}$ наблюдаемого объекта находится как суммарное значение по площади (1):

$$S_{отр} = \int_S^{\infty} k_i ds, \text{ или } S_{отр} = \sum_{i=1}^n S_i k_i, \quad (1)$$

где: n – число элементов разрешения карты площадью S_i , коэффициентом отражения k_i в элементе разрешения измерителя.

Важнейшим параметром детектора пожара является максимальная дальность обнаружения малоразмерного очага пожара ИК подсистемой при автоматическом способе обнаружения (без оператора) на основе превышения видеосигнала, сформированного датчиком от объекта, над пороговым сигналом. В процессе автоматического обнаружения объекта (очага пожара) сигнал с выхода фотоприемника после предварительного усиления поступает на пороговое устройство, которое фиксирует превышение сигнала от объекта над пороговым. Вероятность обнаружения при наличии шумового сигнала однозначно зависит от отношения сигнал/шум. Объект (пожар) всегда размещается на фоне. Полезный сигнал на выходе приемника излучения U представляет собой разницу между сигналами от объекта с очагом пожара (Π) и фона (Φ) в спектральном диапазоне работы датчика (2):

$$U = U_{\Pi} - U_{\Phi} = \frac{A_{\Pi} A_{об}}{R^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_a(\lambda) \Delta L(\lambda) \tau_{об}(\lambda) S_D(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где: λ — длина волны излучения; A_{Π} — площадь очага пожара; $A_{об}$ — площадь входного зрачка объектива; R — расстояние до объекта; $\Delta L(\lambda) = L_{\Pi}(\lambda) - L_{\Phi}(\lambda)$ — абсолютный контраст яркости очага пожара и фона; $\tau_a(\lambda)$ — спектральное пропускание атмосферы, которое зависит от следующих параметров: дальности до объекта, метеорологической дальности видимости при относительной влажности воздуха и его температуры; $\tau_{об}(\lambda)$ — спектральное пропускание объектива. Связь между спектральной чувствительностью приемника $S_D(\lambda)$ и удельной обнаружительной способностью $D(\lambda)$ описывается выражением (3):

$$S_D(\lambda) = D(\lambda) U_{\Pi} / \sqrt{A_D \Delta f}, \quad (3)$$

где: Δf — эффективная шумовая полоса электронного тракта датчика;

A_D — площадь чувствительной площадки приемника (пикселя, если используется матричный приемник);

U_{Π} — шумовой сигнал, формируемый в процессе мониторинга, обусловленный влиянием второстепенных природных и техногенных источников.

Дальности обнаружения малоразмерного пожара одноэлементным приемником в ИК диапазоне составляют до 7–8 км для чистой атмосферы и до 2–3 км в условиях плохой видимости. Яркость излучения фона в видимом диапазоне спектра (для видеокамеры) определяется по формуле (4):

$$B_{\Phi\lambda} = \frac{\omega_{\lambda} S_0(\lambda) \mu_0 \tau_a(\lambda)}{\pi} + B_a(\lambda) + (1 - \omega_{\lambda}) M_{\lambda}(\lambda, T_{\Phi}), \quad (4)$$

где $S_0(\lambda)$ – спектральная солнечная постоянная (освещенность) на поверхности Земли;

μ_0 – косинус угла Солнца по отношению к нормали наблюдаемой площадки;

ω_λ – альbedo отражающей поверхности фона;

$\tau_a(\lambda)$ – пропускание атмосферы между объектом и прибором;

$B_a(\lambda)$ – яркость атмосферной дымки между объектом и прибором;

$M_\lambda(\lambda, T_\phi)$ – функция излучения Планка для температуры фона.

Яркость излучения пламени в видимом диапазоне определяется функцией Планка с температурой пламени T_π . Выражение для световой освещенности в плоскости объекта имеет вид (5):

$$E_{св} = 683 \int_0^\infty E(\lambda)V(\lambda)d\lambda. \quad (5)$$

Здесь: $E_{св}$ – световая освещенность объекта, лк;

$E(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической освещенности объекта;

$V(\lambda)$ – относительная спектральная чувствительность глаза;

683 – пересчетный коэффициент энергетических величин в световые, лм/Вт.

Для спектральной освещенности в плоскости входного зрачка в случае отраженного от фоновых объектов солнечного излучения, когда собственное излучение фона при температуре 300 К соответствует (6):

$$E_\phi(\lambda) = \frac{\omega_\lambda S_0(\lambda)\mu_0\tau_a(\lambda)A_\pi}{\pi R^2} + E_a(\lambda). \quad (6)$$

Здесь $E_a(\lambda)$ – освещенность атмосферы, соответствующая яркости атмосферной дымки на луче наблюдения. Спектральная освещенность от излучения очага пожара (7):

$$E_\pi(\lambda) = \frac{M_\lambda(\lambda, T_\pi)A_\pi\tau_a(\lambda)}{R^2} + E_a(\lambda). \quad (7)$$

Для световой освещенности фона на входном зрачке в двух случаях (8) и (9):

$$E_{\phi\ св} = \frac{683 \omega\mu_0 A_\pi\tau_a}{\pi R^2} \int_0^\infty S_0(\lambda)V(\lambda)d\lambda + E_{a\ св} \equiv E_{\phi\ отр} + E_{\phi\ св}, \quad (8)$$

$$E_{\phi\ св} = \frac{683 A_\pi\tau_a}{R^2} \int_0^\infty S_0(\lambda)V(\lambda)d\lambda + E_{a\ св} \equiv E_{\phi\ соб} + E_{\phi\ св}. \quad (9)$$

Причем на дистанции в 1 км вероятность обнаружения очага пожара размером 1 м с помощью видеокамеры будет существенно меньше 0,5. Очаги пожара с температурой 1500 К с линейным размером 1 м² могут быть обнаружены с помощью видеокамеры на дистанции до 220 м и менее. Для увеличения дальности обнаружения очага возгорания или пожара на дистанции более 1 км целесообразно использовать либо традиционные видеокамеры, работающие в световом диапазоне, но со значительно большей чувствительностью, либо ИК-датчики.

Использование в совокупности с цифровой видеокамерой двух ИК-каналов, лежащих в среднем и тепловом ИК-диапазонах (недорогие одноэлементные приемники), значительно повышает надежность и точность обнаружения пожара. Предельные дальности обнаружения малоразмерного пожара (площадью 1 м²) одноэлементным приемником в ИК-диапазоне составляют до 7–8 км для чистой атмосферы и до 2–3 км в условиях плохой видимости [17].

Информационные технологии видеоаналитики с использованием БЛА могут быть полезны для осуществления мониторинга пожарной безопасности и дистанционного контроля целостности конструкций магистральных нефте-, газо и продуктопроводов и других ОПО, имеющих значительные линейные размеры.

Заключение

1) На современном этапе развития беспилотных авиационных комплексов на мировом рынке БЛА преобладают модели военного назначения при сравнительно малой представленности потребительских и коммерческих дронов, предназначенных для решения задач обеспечения общественной, промышленной и экологической безопасности.

2) По сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами БЛА имеют ряд преимуществ, таких как:

- возможность применения на сверхмалых высотах, что позволяет получить недостижимую для пилотируемых аппаратов геодезическую точность (до 2–3 см против 15–20 см) практически в любую погоду и под низким облачным покровом;
- возможность установки такой же съемочной аппаратуры, что и на пилотируемых летательных аппаратах, но при существенно меньших затратах энергетических ресурсов в силу значительно меньшего веса самого БЛА;
- возможность доставки БЛА к месту разворачивания, запуска и выполнения работ дешевыми наземными видами транспорта или регулярными авиарейсами;
- высокая эффективность видеомониторинга как протяженных линейных объектов, так и компактных объектов с помощью БЛА;
- обеспечение продолжительного и точного следования по маршруту вследствие небольшой массы и высокой степени автоматизации системы управления;
- многократная дешевизна эксплуатации профессионального БЛА по сравнению с пилотируемым авиационным комплексом (самолетом или вертолетом);
- существенно более высокая разрешающая способность и точность мониторинга, мобильность, независимость от облачности, а также сравнительно низкие затраты на техническое сопровождение эксплуатации, ремонта и амортизации БЛА по сравнению с системами космического базирования или пилотируемыми авиационными комплексами;
- высокая степень автоматизации всех функций и относительная независимость от «человеческого фактора».

3) Перспективным направлением применения БЛА является мониторинг состояния агрофитоценозов, объектов и технологических процессов агропромышленного комплекса, а также экологических последствий агропромышленной и лесохозяйственной деятельности,

Для экобиомониторинга сельскохозяйственных и лесохозяйственных объектов в соответствии с поставленными задачами наиболее подходящими являются микро- и мини-БЛА с достаточной грузоподъемностью для установки необходимой аппаратуры.

4) Благодаря массовому производству БЛА в скором времени станут доступны как государственным предприятиям и частным компаниям, так и отдельным потребителям. Увеличение ёмкости аккумуляторов или переход на водородные топливные элементы увеличит полётное время БЛА, которые вскоре окончательно станут автономны.

5) Для обеспечения безопасной эксплуатации БЛА компанией Amazon предложен проект создания двух высотных коридоров для эксплуатации БЛА [18]. Так, на высоте до 60 метров будет разрешено движение беспилотных аппаратов только на умеренной скорости и на малые расстояния. Коридор от 60 до 120 метров будет предназначен для скоростного движения на дальние расстояния. В интервале высот от 120 до 150 метров предлагается установить бесполётную зону с целью предотвращения столкновений БЛА с пилотируемыми самолётами и вертолётами. Одновременно предлагается повысить требования к навигационному оборудованию БЛА.

6) Таким образом, беспилотные авиационные системы, оснащенные радиолокационными, оптико-электронными, лазерными, телевизионными и тепловизионными средствами, позволяют осуществлять мониторинг безопасности критически важных транспортных, энергетических и телекоммуникационных инфраструктур, а также промышленной и

экологической безопасности опасных и потенциально опасных производственных объектов атомно-промышленного, топливно-экологического, агропромышленного и лесохозяйственного комплекса, а также водного и воздушного бассейнов.

Кроме того, в условиях современных мегаполисов и местности с высокой плотностью населения беспилотные авиационные комплексы могут обеспечивать мониторинг угроз противоправных действий и чрезвычайных ситуаций природного и антропогенного характера.

Литература

- [1]. Варламова, Л.П. Роботы и дроны / Л. П. Варламова, Ж. А. Тажиев // Молодой ученый. – 2018. – N 20 (206). – С. 121–125.
- [2]. Вторый, В.Ф. Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов / В.Ф. Вторый, С.В. Вторый // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. – 2017. – Вып. 92. – С. 158–165.
- [3]. Андреев, В.Л. Геоэкологический мониторинг природно-технических систем на основе беспилотных летательных аппаратов // В.Л. Андреев, В.И. Биненко, Р.В. Иванов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2011. – N 18. – С. 139–150.
- [4]. Айроян, З.А. Мониторинг магистральных нефтепроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов / З.А. Айроян, О.А. Коркишко, Г.В. Сухарев // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2016. – N4. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3898>. – Дата доступа: 30.12.2018.
- [5]. От квадрокоптеров до беспилотных самолетов. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/85652-ot-kvadrokoptero-rov-do-bes-pilotnyh-samoletov.html>. – Дата доступа: 17.12.2018.
- [6]. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО. – Режим доступа: <https://armynews.ru/2015/02/malorazmernye-bes-pilotniki-novaya-problema-dlya-pvo/>. – Дата доступа: 17.12.2018.
- [7]. Фетисов, В.С. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова и др. // Монография. – Уфа: ФОТОН, 2014. – 217 с.
- [8]. Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов (дистанционно-пилотируемые летательные аппараты) / Под ред. И. С. Голубева и Ю.И. Янкевича. – М.: изд. МАИ, 2006. – 528 с.
- [9]. Беленков А.И. Опыт и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в точном земледелии / А.И. Беленков // Агронабженческий журнал «Нивы России». – 2016. – N5(138). – С. 62–65.
- [10]. Биненко, В.И. Некоторые результаты и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов для задач экологического мониторинга / В.И. Биненко, В.К. Донченко, В.Л. Андреев, Р.В. Иванов // Экологическая химия. – 2001. – N1. – С. 21–31.
- [11]. Швейцарский летающий дрон исследовал область рядом с АЭС Фукусимой – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.seogan.ru/shveycarskiiy-letayushiiy-dron-issledo-val-oblasti-ryadom-s-aes-fukusima-1.html>. – Дата доступа: 15.11.2018.
- [12]. Беспилотники будут осуществлять мониторинг радиационного фона на АЭС Фукусима-1 с 2015 года. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.seogan.ru/bes-pilotniki-budut-osushestvlyat-monitoring-radiacionnogo-fona-na-aes-fukusima-1-s-2015-goda.html>. – Дата доступа: 30.11.2018.
- [13]. Брюханов, А.Ю. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и лучшие доступные методы их решения / А.Ю. Брюханов, Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина // Региональная экология. – 2017. – N1(47). – С.37–43.
- [14]. Сергеев, К. «Беспилотники» в сельском хозяйстве / К. Сергеев // Специализированный сельскохозяйственный журнал «Ресурсосберегающее земледелие». – 2013. – N2(18). – С. 30–33.
- [15]. The Economic Impact of Unmanned Systems Integration in the United States. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf. – Дата доступа: 17.12.2018.
- [16]. Катковский, Л.В. Метрологические характеристики систем видеотеплового обнаружения пожаров / Л.В. Катковский, С. Ю. Воробьев // Журнал прикладной спектроскопии. – 2012. – Т.79, N1. – С. 168–176.
- [17]. Коркишко, А.Н. Локация утечек нефти, нефтепродуктов и нестабильных углеводородных жидкостей на магистральных трубопроводах / А.Н. Коркишко, Ш.И. Рахматуллин, В.Г. Карамышев // Журнал «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов». – 2011. – N2. – С. 142–147.
- [18]. 10 дронов, которые изменят наш мир в течение 10 лет. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mk.mk.ua/rubric/social/2016/04/04/28704/>. – Дата доступа: 17.12.2018.

THE PROBLEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN PROVIDING PUBLIC, INDUSTRIAL AND ENVIRONMENTAL SAFETY

A.G. DAVIDOVSKY

PhD (Candidate of Biological Sciences), Associate Professor Associate Professor of Engineering Psychology and Ergonomics Department of the Faculty of Computer Design of Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

S.K. DZICK

PhD (Candidate of Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor First Vice-rector of Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

L.P. VARLAMOVA

PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor Associate Professor of Tashkent University of Information Technologies named after al-Khwarizmi

D.V. LIKHACHEVSKY

PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor Dean of the Faculty of Computer Design of the Belarussian state University of Informatics and Radioelectronics

K.D. YASHIN

PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor Head the Department of engineering psychology and ergonomics, faculty of computer-aided design of Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

J.A. TAZHIEV

Senior Lecturer of Tashkent University of Information Technologies named after al-Khwarizmi

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus,
Tashkent University of information technologies named after al-Khorezm, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
E-mail: agd2011@list.ru; likhachevskyd@bsuir.by; yashin@bsuir.by*

Abstract. Has been considered the main problems of application of unmanned aerial vehicles for the solution of problems of ensuring public, industrial and environmental safety at the present stage of development of technologies of unmanned aircraft. Modern approaches to the classification of unmanned aerial vehicles and their advantages in comparison with manned aircraft are presented. The perspective directions of application of unmanned aerial vehicles in ensuring public, industrial and environmental safety are considered. Represented the organization in unmanned aviation system for environmental biomonitoring. Has been characterized various aspects of videoanalytics of fire safety of territories and hazardous production facilities.

Keywords: unmanned aerial vehicle, aircraft classification, public, industrial, environmental safety, fire safety, environmental biomonitoring.