

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Сборник докладов и статей по материалам  
II-й научно-практической конференции

2017 г.

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
924 Государственный центр беспилотной авиации  
Министерства обороны Российской Федерации

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ  
С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

Сборник научных докладов и статей по материалам  
II Научно-практической конференции

Коломна  
2017

УДК 629.7.05(083)

ББК 39.56

В63

Сборник докладов и статей по материалам II научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами» / Коломна: 924 ГЦ БпА МО РФ, 2017. – 337 с.

Под общей редакцией к.т.н. Бодрова А.С., Безденежных С.И.

### **Секция 1 «Разработка и испытания комплексов с БЛА»**

1. Испытание БЛА (полигонно-испытательная база БЛА, заводские, государственные и войсковые испытания БЛА).

2. Базовые технологии создания БЛА (специальная фото- видео-аппаратура, средства электроснабжения, силовые установки, аппаратура обеспечения взлета/посадки, бортовые вычислители, пилотажно-навигационная аппаратура, средства радиоуправления и обмена информацией, малогабаритные средства поражения цели, системы распознавания полученной информации, интеллектуальные системы поддержки принятия решений).

3. Технологии разработки и информационной поддержки жизненного цикла комплексов с БЛА.

4. Стандартизация и унификация в области создания БЛА.

### **Секция 2 «Применение комплексов с БЛА»**

1. Подготовка операторов БЛА.

2. Пункты управления и АСУ БЛА.

3. Способы борьбы с БЛА.

4. Обеспечение безопасности полетов БЛА.

5. Перспективы использования средств РЭБ в комплексах с БЛА.

6. Геоинформационное обеспечение комплексов с БЛА.

7. Инженерно-авиационное обеспечение эксплуатации комплексов с БЛА.

8. Тактика применения комплексов с БЛА в ВС РФ, ФСБ, МЧС, МВД, Росгвардии.

Материалы статей предназначены для преподавательского состава вузов, научных сотрудников, докторантов, адъюнктов и соискателей, занимающихся исследованиями по данным проблемам, а также для инженерно-технического персонала предприятий промышленности, которые осуществляют разработку, производство и испытания соответствующих систем, комплексов, средств и техники.

---

За достоверность изложенных фактов, цитат и других данных в Сборнике докладов и статей II научно-практической конференции ответственность несут авторы.

**УДК 629.7.05 (083)**  
**ББК 39.56**

©924 ГЦ БлА МО РФ, 2017

## Содержание

### СЕКЦИЯ 1 «РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЛА»

<b>Агамалян В.А., Лапшин П.Л.</b> Практический опыт создания и применения беспилотного летательного аппарата с вертикальным взлетом и посадкой.....	10
<b>Агеев А.М., Бондарев В.Г., Ипполитов С.В., Лопаткин Д.В., Скоков С.А.</b> Многофункциональная система технического зрения беспилотного летательного аппарата .....	17
<b>Агеев А.М., Проценко В.В., Скоков С.А.</b> Летающая лаборатория на базе беспилотного летательного аппарата самолетного типа .....	24
<b>Архипкин А.В.</b> Аппаратура передачи данных для комплекса с БЛА легкого класса.....	29
<b>Богдановский С.В., Симонов А.Н.</b> Поляризационно-адаптивная обработка радиоизлучений в определении местоположения радиоэлектронных средств с беспилотных летательных аппаратов .....	35
<b>Гайдин А.П., Симонов А.Н.</b> Оценивание допустимого искажения ЛЧМ-импульсов в задачах имитации воздушных целей с БЛА.....	43
<b>Гареев М.Ш., Котляр А.В., Кулеев Р.Ф., Янин Д.М.</b> Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов по изображениям, полученным с БЛА.....	48
<b>Головин П.М.</b> Применение имитационной помехи ГНСС для увода БЛА в заданный район .....	52
<b>Гомзин А.В., Гимадеев Р.Г.</b> Предложения ОКБ Симонова по формированию облика разведывательно-ударной системы на основе научно-технического задела разработки комплексов с беспилотными летательными аппаратами.....	57
<b>Дьяконов Д.А.</b> Понятие и определение интегральных лётно-технических характеристик дистанционно пилотируемого вертолётa малого класса .....	61
<b>Елагин Ю.Н.</b> Гиросtabilизированные приборы и оптико-электронные системы.....	69

<b>Жмуров Б.В.</b>	
Интеллектуальная энергосистема беспилотных летательных аппаратов .....	72
<b>Замыслов М.А., Проценко В.В., Тарасов С.В., Штанькова Н.В., Мальцев М.А.</b>	
Математическая модель для формализации сигналов управления рулями беспилотного летательного аппарата .....	80
<b>Земляной Е.С.</b>	
Информационно-управляющий комплекс бортового оборудования беспилотных летательных аппаратов .....	87
<b>Злотников К.А., Кудрявцев А.Н.</b>	
Актуальные вопросы создания автоматизированных систем подготовки специалистов по управлению комплексами с беспилотными летательными аппаратами.....	91
<b>Ищук И.Н., Филимонов А.М., Степанов Е.А., Постнов К.В.</b>	
Алгоритм классификации объектов воздушной разведки комплексами с беспилотными летательными аппаратами по данным тепловых томограмм.....	98
<b>Костяшкин Л.Н., Бондаренко Д.А., Муравьев С.И.</b>	
Видеоинформационные и лазерные системы для высокоточного прицеливания и наведения управляемого оружия .....	106
<b>Медведев П.В.</b>	
Эффективность помехоустойчивых адаптивных антенных решёток приёмников ГНСС БЛА в условиях воздействия множества распределённых источников помех .....	109
<b>Мещеряков А.Л.</b>	
Наземные комплексы информационного обеспечения видеоаэросъёмки (НКИО ВА) .....	114
<b>Михайленко С.Б., Проценко В.В., Штанькова Н.В., Подкорытов А.Н., Мальцев М.А.</b>	
Математическая модель ограничителя угла тангажа летательного аппарата с порогом, управляемым нечетким контроллером.....	123
<b>Никоненко А.В., Антонов И.К.</b>	
Диаграмма направленности антенной системы многолучевой радиолокационной станции .....	130
<b>Оганесян А.А.</b>	
Применение интегрированной системы обмена информацией в комплексах с БЛА .....	135
<b>Осипов Ю.Н., Ершов В.И.</b>	
Математическое моделирование при войсковых испытаниях БАС.....	138
<b>Павлов В.Ю., Терновсков В.Б., Филиппенков П.Н.</b>	
Аэромобильная коммуникационная сеть .....	141

<b>Чеботарь И.В., Балдычев М.Т., Гайчук Ю.Н.</b> Модифицированный алгоритм определения вектора скорости радиомолчащих воздушных объектов радиотехническим комплексом с источником подсвета на беспилотных летательных аппаратах.....	<b>148</b>
<b>Черкасов И.В.</b> Разработка альтернативного метода обеспечения посадки для КБЛА .....	<b>155</b>
<b>Шевченко А.В., Юрьев А.С., Савищенко Н.П.</b> Применение современных методов численного моделирования при разработке и совершенствовании беспилотных летательных аппаратов .....	<b>158</b>
<b>Якупов И.Р.</b> Имитационно-испытательные комплексы для РЛС СПРН.....	<b>165</b>
<b>Брайткрайтц С.Г., Небелов Е.В., Безденежных С.И.</b> Совершенствование порядка формирования требований при подготовке ТТЗ на создание комплексов с БЛА .....	<b>167</b>

## **СЕКЦИЯ 2 «ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ С БЛА»**

<b>Агамалян В.А., Винницкий С.Н., Зинченко М.Ю.</b> Пути повышения эффективности применения беспилотных летательных аппаратов за счет реализации в терминалах связи развед- и помехозащищенных режимов работы .....	<b>176</b>
<b>Анисимов А.А.</b> Рекомендации по методике подготовки сотрудников-операторов беспилотных летательных аппаратов в органах государственной безопасности.....	<b>181</b>
<b>Асташкин Д.Г.</b> Концептуальные взгляды командования ВВС США на развитие беспилотной авиации.....	<b>183</b>
<b>Виноградов А.Д., Зайцев И.В., Молев А.А., Мыльников В.А., Дьяконов Д.А., Коровин А.В., Архипкин А.В.</b> Широкодиапазонная станция радиоразведки на беспилотном летательном аппарате вертолетного типа легкого класса .....	<b>197</b>
<b>Гагарский С.В., Поляков Г.А., Гагарский В.С., Рахманов Ю.В., Шелуханов Д.М.</b> Многофункциональный модульный комплекс тактической разведки на подвижном носителе .....	<b>205</b>
<b>Ищук И.Н., Зубков С.Д., Аккубеков П.А.</b> Способы применения групп беспилотных аппаратов коптерного типа одним оператором .....	<b>211</b>

<b>Картеничев А.Ю.</b>	
Актуальные направления применения технологий использования беспилотных авиационных систем при решении задач МЧС России .....	<b>218</b>
<b>Красавский В.А., Иванов М.А.</b>	
Особенности применения комплексов РЭБ с БЛА в условиях применения противником линейных и нелинейных построений при смежных и несмежных зонах ответственности .....	<b>225</b>
<b>Лоськов В.И., Седов В.С.</b>	
Решение проблем эксплуатации беспилотных летательных аппаратов самолетного и вертолетного типа. Мобильные комплексы управления: акцент на условия работы .....	<b>234</b>
<b>Лялюк И.Н.</b>	
Основные задачи автоматизации процессов применения беспилотных авиационных систем .....	<b>241</b>
<b>Осипов Ю.Н., Ершов В.И.</b>	
Технология разработки программ подготовки операторов беспилотных авиационных систем .....	<b>248</b>
<b>Павлович А.В., Щекунских В.О., Свищо В.С.</b>	
Динамическое моделирование применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами малой дальности и ближнего действия .....	<b>258</b>
<b>Печурин В.В., Гайчук Ю.Н., Балдычев М.Т.</b>	
Влияние геометрии расположения беспилотных летательных аппаратов на погрешность определения местоположения источника радиоизлучения .....	<b>263</b>
<b>Платонов В.Е.</b>	
Тактика применения беспилотных летательных аппаратов с высокой степенью автономности на удаленных и труднодоступных участках государственной границы в условиях лесисто-болотистой местности .....	<b>269</b>
<b>Пылаев Н.А.</b>	
Перспективы применения БЛА в качестве носителей ретрансляторов связи .....	<b>274</b>
<b>Пьянников А.А., Извольский А.В., Баев Ф.В.</b>	
Вопросы формирования, распространения и использования ключевой информации в КБЛА .....	<b>281</b>
<b>Ромашов В.А., Шайдулин З.Ф., Бердюгин С.Ю.</b>	
Координатометрия источников радиоизлучений на базе беспилотных летательных аппаратов .....	<b>287</b>
<b>Свищо В.С., Аккубеков П.А., Зубков С.Д.</b>	
Создание трехмерной модели в интересах применения робототехнических комплексов военного назначения .....	<b>294</b>

<b>Сергеев В.В., Булатов О.Г., Жернаков А.Б.</b>	
Развитие беспилотной авиации в интересах материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации ...	<b>302</b>
<b>Стоянов Ю.П., Евдокимов А.Н.</b>	
Применение БЛА для охраны объектов .....	<b>311</b>
<b>Струков С.Ю., Губанова Е.С.</b>	
Информационно-управляющая система поддержки этапа эксплуатации комплексов с беспилотными летательными аппаратами....	<b>316</b>
<b>Хрипушин Д.В., Линник И.В.</b>	
Способы совместного применения БЛА РЭБ и наземных комплексов радиоподавления в условиях радиоэлектронного конфликта .....	<b>323</b>
<b>Черкасов И.В.</b>	
Подготовка внешних пилотов БЛА .....	<b>328</b>
<b>Чурыбкин Н.Н., Попов Н.М.</b>	
Эффективность применения беспилотных летательных аппаратов разведывательными органами .....	<b>331</b>

## **СЕКЦИЯ 1 «РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЛА»**

Агамалян В.А., генеральный директор, ООО «ЮВС Авиа»;  
Лапшин П.Л., инженер, ООО «ЮВС Авиа»

### **Практический опыт создания и применения беспилотного летательного аппарата с вертикальным взлетом и посадкой**

ООО «ЮВС Авиа» является одним из известных разработчиков беспилотных авиационных комплексов (БАК) многороторного типа с вертикальным взлетом.

Основу БАК составляет беспилотный летательный аппарат «Помощник-2-БЛА» разработанный инженерами ООО «ЮВС АВИА» в интересах Министерства обороны РФ, в тесном взаимодействии с инженерами ООО НТЦ «ЮРИОН».

«Помощник-2-БЛА» предназначен для:

- дистанционного осмотра с воздуха территорий, зданий и оборудования в месте ликвидации аварий;
- поиска, обнаружения и идентификации объектов в заданном районе или полосе маршрута с определением координат, а также ведения наблюдения за выявленными объектами и передачи видеоинформации в режиме реального времени;
- передачи фотоизображений, видеоинформации и информации с дозиметрического датчика на пункт управления;
- измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения;
- определения положения предметов, различающихся по температуре поверхности.

Государственные испытания БЛА, проводимые согласно «Руководства по испытаниям авиационной техники» (РИАТ) при участии специалистов 929-го Государственного лётно-испытательного центра Министерства обороны имени В.П.Чкалова (929 ГЛИЦ ВВС) были успешно завершены в декабре 2015 года.

23 ноября 2016 г., согласно Решению № 249/5/1888НС комплекс рекомендован к серийному производству.

На сегодняшний день «Помощник-2-БЛА» является единственным малогабаритным беспилотным летательным аппаратом многороторного типа, прошедшим Государственные испытания в ГЛИЦ и рекомендуемым к серийному производству в интересах Министерства обороны РФ.

Основные характеристики аппарата «Помощник-2-БЛА» следующие:

- масса полезной нагрузки – 1200...2500 гр.;

- высота полета (рабочая/максимальная) – 300/ 1500 м.;
- максимальная горизонтальная скорость полета – до 40 км/ч;
- продолжительность полета (в зависимости от нагрузки и ветра) – до 40 минут с максимальной взлетной массой нагрузке; до 60 минут – пустой;

– возможность организации помехозащищенного канала связи для управления БЛА;

– возможность применения в качестве приемника ГНСС навигационного модуля (НМ) «МАЛЕК-1», разработанного по заказу МО РФ конструкторским бюро навигационных систем «НАВИС».

В состав полезной нагрузки входят:

– совмещенный модуль с тепловизором и видеокамерой на гиостабилизированной платформе (изделие СМВТ-1000);

– устройства детектирования гамма-излучения УДКГ-А01 и УДБГ-04-06.

Кроме того, БЛА может комплектоваться и модулями двойного назначения – оповещения населения (громкоговоритель), сброса груза.



Рисунок 1 – БЛА «Помощник-2-БЛА»



Рисунок 2 – Полезная нагрузка СМВТ-1000 (слева) и УДКГ-А01 (справа)

Отличительными особенностями комплекса является возможность его эксплуатации в неблагоприятных условиях внешней среды:

- рабочий диапазон температур –  $-40^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ ;
- рабочая скорость ветра – до 15 м/с;
- атмосферные осадки в виде снега, дождя, слабое обледенение;
- полет на высоте до 1500 м (динамический потолок – 7000 м);
- дальность действия радиоканала – 5 км.

Также, важной особенностью комплекса является использование для управления летательным аппаратом и полезной нагрузкой, передачи большого объема потоковой информации в реальном масштабе времени современных высокоскоростных средств радиосвязи отечественного производства.

Так, для передачи видеоизображения с качеством HD 720p или Full HD 1080i на борту БЛА может применяться аппаратура «Радиус-О» (масса видеопередатчика – 65 гр) с дальностью связи до 27 км.

Для организации помехоустойчивого радиоканала управления возможно применение радиомодема с ППРЧ «Редут» (масса – 140 гр) с дальностью связи до 150 км (в условиях прямой видимости, на ограничении мощности до 1 Вт) и скоростью передачи до 16 кбит/с (оба изделия производства компании ООО НТЦ «ЮРИОН»).

«Помощник-2-БЛА» может поставляться в трех вариантах исполнения:

- БЛА-РХ – для решения задач визуальной и радиационной разведки;
- БЛА-ВМ – для решения задач визуальной разведки и воздушного мониторинга
- БЛА-ПП – для решения различных задач с иными полезными нагрузками.



Рисунок 3 – Видеопередатчик «Радиус-О»



Рисунок 4 – Радиомодем «Редут»

Комплекс имеет развитые алгоритмы автоматического реагирования на возникновение нештатных ситуаций. В частности, при пропадании сигнала ГНСС БЛА, используя инерциальную навигационную систему, следует в сторону точки старта по магнитному пеленгу.

Таким образом, БАК на базе БЛА «Помощник-2-БЛА» является универсальной воздушной платформой для решения широкого спектра задач, в число которых (помимо задач по прямому назначению) могут входить:

– Патрулирование охраняемых территорий в автоматическом режиме (например, периметра аэродрома). При этом применение БЛА позволяет:

- снизить время реагирования системы безопасности на нештатную ситуацию;
- снизить количество ложных срабатываний;
- патрулировать периметр при выходе оборудования из строя (в том числе в темное время суток);

- снизить влияние человеческого фактора;
  - снизить время обнаружения нарушителя.
- Аэрофотосъемка и картографирование. При этом возможности получения картографической информации существенно шире, чем при использовании БЛА самолетного типа.
- Поиск людей (например, пострадавших в результате ЧС) в том числе и в темное время суток;
- Доставка индивидуальных средств спасения, либо иных малоразмерных грузов в тех случаях, когда применение пилотируемых ЛА невозможно или нецелесообразно (например, при невозможности организации постоянной посадочной площадки и большом удалении от существующих аэродромов)
- Применение в качестве ретранслятора связи. При этом может быть обеспечено:
- восстановление, резервирование или быстрое наращивание развернутых сетей (линий) связи;
  - высокоскоростную связь с подразделениями (группами), действующими в отрыве от основных сил, в том числе в условиях окружения;
  - связь на отдельных этапах подготовки или ведения боя с ограниченным использованием основных средств связи (например, в рамках мероприятий обеспечения скрытности, при перегруппировке, в районе развертывания, в местах десантирования и т.д.);
  - связь в труднодоступных районах (в том числе зараженных, горных, болотистых, в лесистых районах и т.д.);
  - связь в наступлении при высоких темпах продвижения войск (до и во время развертывания наземной компоненты системы связи).

По результатам испытаний и применения в реальных условиях эксплуатации (в интересах МО и МЧС РФ), можно выделить некоторые тенденции, потенциально ограничивающие применения БЛА и существенно снижающие их эффективность. Причем, данные тенденции носят системный характер и могут быть обобщены на все типы малогабаритных БЛА.

1. В части унификации и стандартизации – полная несовместимость полезной нагрузки, бортовых средств связи, наземных станций управления, аккумуляторных батарей и зарядных устройств, информационно-лингвистического и программного обеспечения различных производителей БЛА между аналогичными по функциям изделиями. Каждый производитель подбирает указанное оборудование

исходя из имеющихся ресурсов и возможностей, что приводит к несовместимости, удорожанию, как выполняемых работ, так и конечной стоимости изделий, сужение спектра задач, которые возможно решать с помощью БЛА

2. В части управления, телеметрии и передачи информации – функционирование в условиях направленного воздействия средств РЭБ противника (радиоэлектронное подавление, перехват управления, блокировка линий или сетей связи) на каналы управления БЛА и поток данных от полезной нагрузки, блокирование сигналов ГНСС.

3. В части системы управления, разведки и связи – отсутствие интеграции системы управления БЛА в автоматизированные системы различных уровней управления. Активное развитие автоматизированных систем управления для планирования и управления войсками и оружием различных уровней управления в настоящее время не предполагает применение БЛА в их контурах управления.

4. В части планирования применения – независимое планирование применения каждого отдельного БЛА. Как следствие, невозможность перераспределения (в том числе, концентрации) ресурсов БЛА в зависимости от решаемых задач и складывающейся обстановки.

Для преодоления перечисленных выше тенденций предлагается решить следующие вопросы:

1. Разработать и принять перечень стандартов для БЛА (с учетом принятой классификации) и полезной нагрузки, обязательный для применения всеми заказчиками и разработчиками. Данный перечень может включать:

- массогабаритные и конструктивные ограничения полезной нагрузки;
- рекомендуемые к применению информационно-лингвистическое и программное обеспечение для автоматизированной системы планирования и управления БЛА;
- интерфейсы электронных компонентов, в том числе полезной нагрузки;
- параметры электропитания полезной нагрузки, системы электроснабжения (бортовой и наземного пункта управления).

2. Проблему скрытности и устойчивости связи при ведении информационного обмена между БЛА, наземными станциями управления и потребителями решать путем создания единой телекоммуникационной среды для всех типов БЛА. Ее техническую основу должны составить воздушные и наземные терминалы различных типов, обеспечивающие следующее:

- работу в составе сетей (типа MESH) - самоорганизующих,

масштабируемых и адаптируемых под задачи и условия применения;

- снижение признаковой доступности источников радиоизлучения за счет унификации изделий;
- применение сигналов с пониженной мощностью излучения на частоте (в полосе частот)
- развед- и помехозащищенные режимы работы (быстрое ППРЧ, помехоустойчивое кодирование, адаптация по мощности, скорости, кодовой избыточности) радиосредств;
- децентрализованную синхронизацию в сетях, отсутствие в структуре сигнала синхроимпульсов;
- динамическую маршрутизацию в сети;
- криптографическую защиту и имитостойкость каналов связи.

3. Приоритетное направление развития системы планирования и управления БЛА – ее интеграция в АСУ, в интересах которой предполагается применение БЛА.

Для обеспечения интеграции систем управления БЛА в существующие и разрабатываемые АСУ войсками и оружием предлагается:

а) в составе программного обеспечения БЛА иметь:

- общее и общеспециальное программное обеспечение АСУ войсками и оружием, в интересах которой предполагается применять БЛА;
- специальное программное обеспечение, реализующие уникальные функции планирования и управления БЛА, его технического обслуживания и ремонта;
- технологическое программное обеспечение из состава бортовой системы управления и наземной станции управления, реализующее функции непосредственного управления полетом, взлетом и посадкой БЛА.

б) информационно-лингвистическое обеспечение планирования применения и управления БЛА разрабатывать на основе соответствующего обеспечения АСУ войсками и оружием, в интересах которой предполагается его применение;

в) в состав документации на наземное оборудование управления БЛА и полезной нагрузкой включать положения об установке данного оборудования в состав объектов управления и связи (подвижных и/или стационарных).

Таким образом, приоритетными, в части развития БЛА, в ближайшей перспективе могут стать работы, направленные на стандартизацию аппаратно-программных решений по построению

беспилотных летательных аппаратов, интеграцию систем планирования и управления БЛА в структуры АСУ войсками и оружием, разработку терминалов с возможностью работы в самоорганизующихся сетях связи в условиях активного воздействия средств РЭБ.

Агеев А.М., к.т.н., доцент, начальник отдела, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Бондарев В.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Ипполитов С.В., к.т.н., доцент, начальник кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Лопаткин Д.В., к.т.н., старший преподаватель, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Скоков С.А., оператор научной роты, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

### **Многофункциональная система технического зрения беспилотного летательного аппарата**

Для успешного боевого применения современных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) необходимо обеспечить возможность его эффективного управления на всех режимах полета. Чрезвычайная сложность полета в режиме захода на посадку в условиях низкой автоматизации управления БЛА приводят к существенному повышению загруженности летчика-оператора, снижению безопасности полета и эффективности боевого применения БЛА [1]. Одним из направлений в решении задачи безопасной посадки БЛА на взлетно-посадочную полосу (ВПП) является совершенная автоматизация полета, обеспечиваемая высокоточными измерением и регулированием параметров посадки.

Исходя из вышеизложенного, предлагается обеспечить автоматическую посадку БЛА по-самолетному на ВПП с помощью разработанного алгоритмического обеспечения многофункциональной оптической системы технического зрения и системы автоматического управления [1]. Разработка автоматической посадки зависит от точностных характеристик средств измерения пространственного и углового положения БЛА относительно глиссады снижения. Малая точность этих средств измерения приводит к «грубым» посадкам, а в отдельных случаях к разрушению аппарата в момент касания с ВПП.

Для повышения точности измерения на борту БЛА необходимо иметь другие (нештатные) источники информации о положении на глиссаде снижения для выполнения автоматической посадки.

Успешным технической решением информационного обеспечения БЛА на режиме посадки представляется система технического зрения (СТЗ) на основе оптико-электронной системы, что обуславливается тенденцией к освоению широкого спектрального диапазона и автоматизации оптических измерений. Именно в таком

техническом воплощении можно объединить высокую точность и быстрдействие, малые габариты, стоимость и автономность работы.

Рассмотрим в качестве примера систему измерения параметров положения БЛА относительно ВПП, которая включает три наземных лазерных маяка ИК диапазона и бортовую систему технического зрения. Летательный аппарат при заходе на посадку попадает в область излучения лазерных маяков, расположенных на земле, которая для каждого маяка формируется в виде четырехугольной пирамиды с осью симметрии в окрестности траектории снижения самолета.

Исследованиями установлено, что наилучшие параметры такой системы достигаются при длине волны излучения маяков 1,55 мкм и мощности излучения свыше 1 Вт, причем снижение метеорологического минимума достигается регулированием мощности излучения в зависимости от прозрачности атмосферного воздуха, а также освещенности земной поверхности.

По центрам яркости изображений маяков на фотоматрице, координаты которых  $(y_n, z_n)$ ,  $n=1...3$  находят в процессе обработки изображений, определяются пространственное и угловое положение БЛА относительно системы маяков.

Для описания взаимного положения системы маяков и БЛА введем в рассмотрение горизонтальную прямоугольную систему координат  $OXYZ$ , связанную с системой источников излучения (базис  $i, j, k$ ), ось  $OX$  совпадает с осевой линией ВПП, ось  $OY$  совпадает с вертикалью, а ось  $OZ$  образует правую систему координат. Система координат  $O'X'Y'Z'$  – подвижная система, связанная с геометрическим центром фотоматрицы, где ось  $O'X'$  направлена по оптической оси объектива, ось  $O'Y'$  направлена вверх перпендикулярно горизонтальной стороне фотоматрицы, ось  $O'Z'$  перпендикулярна осям  $O'X'$ ,  $O'Y'$ , образуя с ними правую систему координат представленными на рисунке 1.

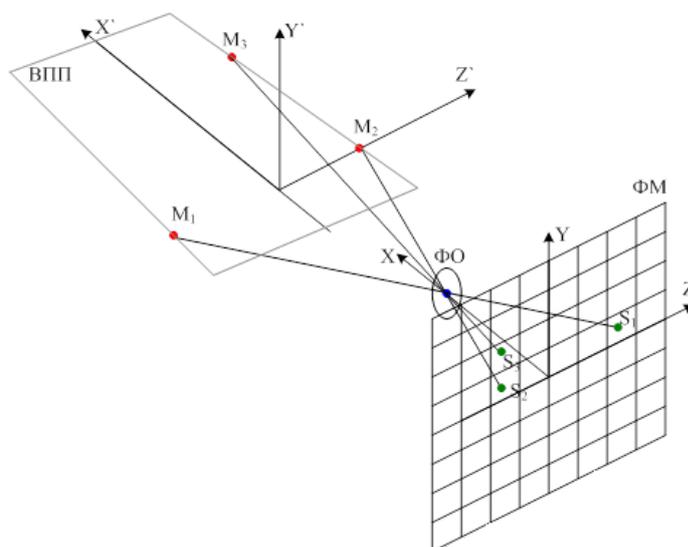


Рисунок 1 – Взаимное расположение систем координат  $OXYZ$  и  $O'X'Y'Z'$

Расположение маяка  $M_n$  в системе  $OXYZ$  описывается координатами  $(l_{xn}, l_{yn}, l_{zn})$ , а его изображение  $S$  в плоскости фотоматрицы – координатами  $(y_n, z_n)$ . Система уравнений, описывающих угловое и линейное положение БЛА в системе координат, связанной с ВПП, имеет следующий вид

$$\left. \begin{aligned} (a_{13}F + a_{11}z_1)(x_n - l_{x1}) + (a_{23}F + a_{21}z_1)(y_n - l_{y1}) + (a_{33}F + a_{31}z_1)(z_n - l_{z1}) &= 0, \\ (a_{12}F + a_{11}y_1)(x_n - l_{x1}) + (a_{22}F + a_{21}y_1)(y_n - l_{y1}) + (a_{32}F + a_{31}y_1)(z_n - l_{z1}) &= 0, \\ (a_{13}F + a_{11}z_2)(x_n - l_{x2}) + (a_{23}F + a_{21}z_2)(y_n - l_{y2}) + (a_{33}F + a_{31}z_2)(z_n - l_{z2}) &= 0, \\ (a_{12}F + a_{11}y_2)(x_n - l_{x2}) + (a_{22}F + a_{21}y_2)(y_n - l_{y2}) + (a_{32}F + a_{31}y_2)(z_n - l_{z2}) &= 0, \\ (a_{13}F + a_{11}z_3)(x_n - l_{x3}) + (a_{23}F + a_{21}z_3)(y_n - l_{y3}) + (a_{33}F + a_{31}z_3)(z_n - l_{z3}) &= 0, \\ (a_{12}F + a_{11}y_3)(x_n - l_{x3}) + (a_{22}F + a_{21}y_3)(y_n - l_{y3}) + (a_{32}F + a_{31}y_3)(z_n - l_{z3}) &= 0. \end{aligned} \right\} (1)$$

Полученная система уравнений (1) относительно дальности  $X_n$ , высоты  $Y_n$ , бокового отклонения  $Z_n$  и коэффициентов матрицы направляющих косинусов  $a_{ij}$ , зависящих от углов рыскания  $\psi$ , крена  $\gamma$  и тангажа  $\nu$  является нелинейной. Система уравнений (1) может быть решена одним из численных методов при условии, что координаты маяков известны. Все эти методы, имеют один общий недостаток, который состоит в необходимости выполнения множественных итерационных вычислений, что существенно повышает требования к вычислительным ресурсам бортового вычислителя. Однако, применительно к методу последовательных приближений есть важный момент, делающий его более предпочтительным по сравнению с другими методами. Дело в том, что если достаточно точно определить нулевое приближение, то метод обеспечивает надежную и быструю сходимость к решению (для практических нужд достаточно одной итерации) с хорошей точностью. Пользуясь результатами измерений координат изображений маяков на фотоматрице, можно достаточно точно (1...2 %) и с малыми вычислительными затратами определить нулевое приближение.

Рассмотрим такой подход применительно к системе (1) используя метод Ньютона-Рафсона, представляющий собой разновидность метода последовательных приближений. Как показал опыт, нулевое приближение обеспечивает погрешность не более 5 %, а каждое последующее приближение уменьшает ее еще на два порядка, поэтому для практических целей вполне достаточно останавливаться на первом приближении. Для его нахождения необходимо решить следующую систему линейных уравнений в матричной форме связывающую нулевое и первое приближения решений уравнения (1):

$$\begin{aligned} & \left[ x_n^{(1)} \quad y_n^{(1)} \quad z_n^{(1)} \quad \gamma^{(1)} \quad \psi^{(1)} \quad \nu^{(1)} \right]^T = \\ & = \left[ x_n^{(0)} \quad y_n^{(0)} \quad z_n^{(0)} \quad \gamma^{(0)} \quad \psi^{(0)} \quad \nu^{(0)} \right]^T - \Phi^{-1} \left[ x_n^{(0)} \quad y_n^{(0)} \quad z_n^{(0)} \quad \gamma^{(0)} \quad \psi^{(0)} \quad \nu^{(0)} \right] \cdot f^{(0)}, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $f^{(k)} = [f_1^{(k)} \quad f_2^{(k)} \quad f_3^{(k)} \quad f_4^{(k)} \quad f_5^{(k)} \quad f_6^{(k)}]^T = 0$ ,  $f^{(k)}$  – матрица левых частей уравнений (1) для  $k$ -го приближения, а  $\Phi$  – матрица Якоби,  $x_n^{(k)}, y_n^{(k)}, z_n^{(k)}, \gamma^{(k)}, \psi^{(k)}, \nu^{(k)}$  –  $k$ -е приближения решения системы.

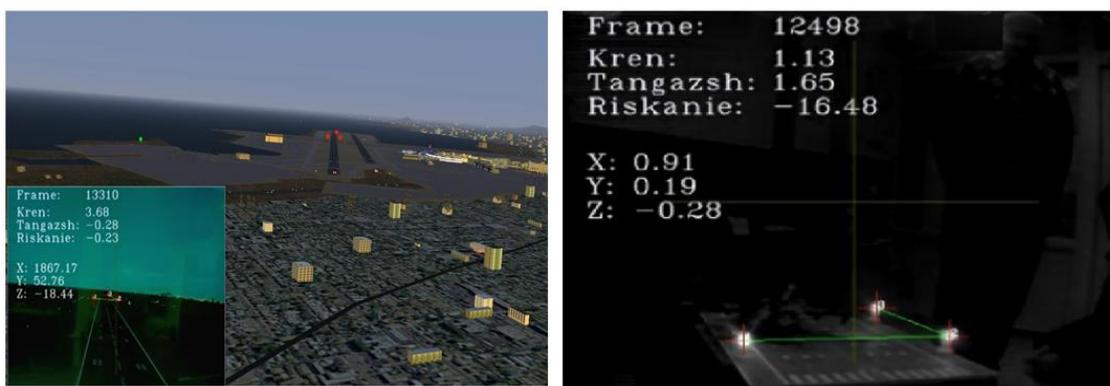
Причем матрицу Якоби выписывать в аналитическом виде нет необходимости, в виду ее громоздкости, а вычисление следует выполнять в численном виде.

Многофункциональная система технического зрения включает оптико-электронное многофункциональное средство измерения, обеспечивающее прорыв в решении задачи автоматического управления в различных режимах полета. Предназначен для разработки и отладки алгоритмического и программного обеспечения систем автоматической посадки, полета строем и дозаправки. Структура системы представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структурная схема многофункциональной системы технического зрения

При разработке многофункциональной системы технического зрения проводилось имитационное моделирование, в основе которого была положена математическая модель динамики полета БЛА, интегрированная с бортовым автопилотом БЛА и авиасимулятором, для отображения визуального представления модели ВПП (рисунок 3а).



а)

б)

Рисунок 3 – Испытания автоматического захода на посадку:

а – полунатурное моделирование, б – эксперимент с использованием макета ВПП

Математическая модель динамики полета формирует параметры движения БЛА, передает эти данные бортовому автопилоту. Многофункциональная оптико-электронная система фиксирует положение ИК-маяков на экране, формирует сигналы положения БЛА относительно ВПП, передает эти данные бортовому автопилоту. Бортовой автопилот в соответствии с заложенным законом управления ведет самолет по глиссаде на посадку. В дальнейшем был разработан макет ВПП с тремя ИК-маяками для проведения натурных испытаний (рисунок 3б). Данный макет позволил отработать систему в реальных условиях, провести серию экспериментов с использованием различных ИК-фильтров и светодиодов.

Для решения задачи управления полетом БЛА в режиме обеспечения посадки разработан алгоритм автоматического управления, обеспечивающий выдерживание параметров посадки с заданной точностью. В основу алгоритма автоматического управления положены принципы: иерархического многоуровневого деления полётного задания на этапы полёта, участки и фазы; разделения каналов непрерывного и дискретного управления [2].

На основании сформированных заданного путевого угла, заданного наклона траектории и заданной программы управления по скорости с учётом существующих ограничений формируется закон управления в терминах заданного крена и перегрузки, являющийся основой для работы модели штатной САУ БЛА. В продольном канале работа САУ на посадочном режиме построена на выдерживании заданного значения угла тангажа посредством рулей высоты и изменением тяги двигателя. Для управления боковым движением БЛА на этапе посадки используются аэродинамический руль направления и многосекционные элероны.

На основе полученных законов управления и рассчитанной математической модели движения БЛА на режиме посадки было проведено численное моделирование, где исследовались ошибки отклонения от заданных параметров регулирования, представленные на рисунке 4.

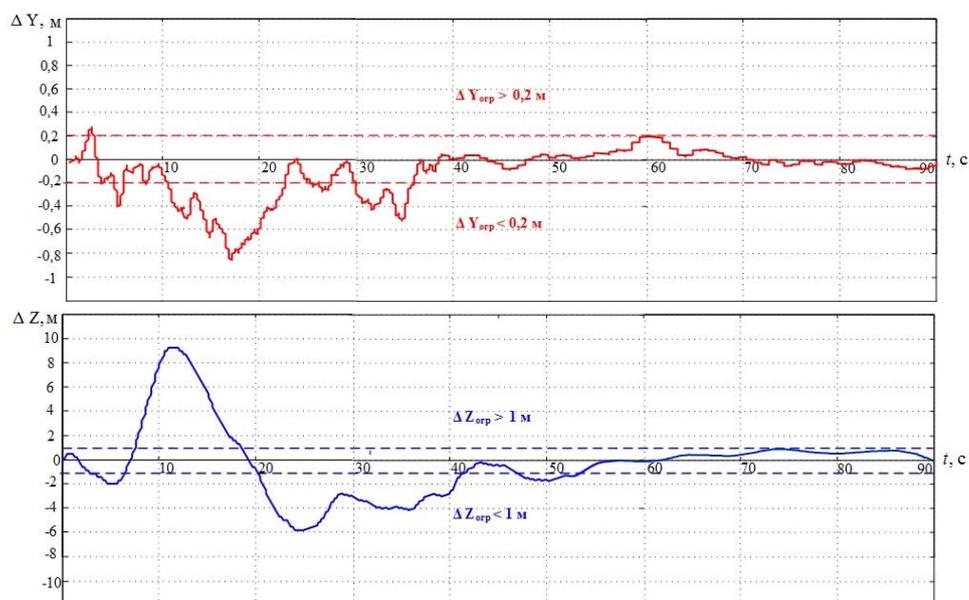


Рисунок 4 – Ошибки регулирования по вертикальному  $\Delta Y$  и боковому  $\Delta Z$  отклонению при влиянии турбулентности ветра ( $\sigma U=2$  м/с,  $L=300$  м)

Полученные результаты моделирования показывают, что точность измерения и регулирования параметров посадки достаточна для решения задачи выполнения автоматической посадки с применением разработанного алгоритмического обеспечения.

Таким образом, использование разработанного алгоритмического обеспечения многофункциональной оптической системы технического зрения определило перспективу практического применения оптико-электронной измерительной системы и САУ для безопасной автоматической посадки БЛА по самолетному на ВПП.

Аналогичный принцип действия системы может быть реализован и в режимах дозаправки и полета строем. Предлагается при дозаправке ИК-метки устанавливать на заправочном конусе с активным управлением (рисунок 4а); при полете строем – на хвостовое оперение и законцовки крыла ведущего самолета в группе (рисунок 4б). Таким образом, возможно расширение использования СТЗ для обеспечения посадки на авианосец, маловысотный полет, задачи предотвращения столкновений с препятствиями, задач прицеливания по наземным и воздушным целям.



а)



б)

Рисунок 5 – Различные варианты использования системы технического зрения:  
а – дозаправка топливом в полете, б – групповой полет

В предлагаемой системе реализованы ряд запатентованных технических решений [3]. Возможно ее внедрение с использованием только отечественных комплектующих. В 2016 году изготовлен опытный образец системы, с помощью которого в настоящее время отработывается способ автоматической посадки на ВПП в сложных метеоусловиях. Предлагается постановка опытно-конструкторской работы по внедрению предложенной системы в перспективные образцы авиационной техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование и разработка аппаратных и программных средств системы технического зрения транспортного средства: Отчет о НИОКР / ООО НПП «Оптикон»; рук. Бондарев В.Г.; исполн.: Конотоп В.И., Ипполитов С.В. – Ставрополь, 2009. – 98 с. – Библиогр.: с. 74. – № ГР 01200957547. – Инв. № И090726164858.

2. Технология создания комплексов управления многоцелевых беспилотных и пилотируемых аэрокосмических систем / под. ред.

М.М. Сильвестрова. – М.: Издательство МБА, 2014. – 296 с.

3. Патент РФ №2357240. Приоритет 23.04.2007. Способ определения местоположения и углов ориентации летательного аппарата относительно взлетно-посадочной полосы и устройство для его осуществления. Ипполитов С.В., Бондарев В.Г., Конотоп В.И., Гузеев А.Е., Лейбич А.А.

Агеев А.М., к.т.н., доцент, начальник отдела, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Проценко В.В., младший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Скоков С.А., старший оператор научной роты, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

### **Летающая лаборатория на базе беспилотного летательного аппарата самолетного типа**

В настоящее время перед оборонно-промышленным комплексом стоит задача форсированного развития системы применения беспилотных летательных аппаратов. На повестке разработка и принятие на вооружение комплексов большой дальности и продолжительности полета. Особенности беспилотных машин влекут за собой нерешенные проблемы в организации их испытаний: отсутствует соответствующая экспериментальная база, а использование в этих целях летающих лабораторий на базе пилотируемых самолетов становится экономически нецелесообразным. Военно-воздушная академия ведет подготовку специалистов для комплектования расчетов беспилотных летательных аппаратов, кроме того сформирован научно-технический задел в области их применения и всестороннего обеспечения. Запатентовано свыше 50 изобретений, в которых предлагаются новые технические решения по оборудованию и целевым нагрузкам. Таким образом сформировалась необходимость создания платформы для проведения экспериментальной отработки полученных идей, подготовки операторов управления и инженерно-технического состава.

Для решения указанных проблем и демонстрации имеющихся разработок в академии предлагается проект летающей лаборатории на базе беспилотного летательного аппарата самолетного типа «Гамма».

Комплекс предназначен для проведения экспериментальных исследований бортового и наземного радиоэлектронного оборудования и целевых нагрузок беспилотных летательных аппаратов, а также подготовки операторов управления.

В состав комплекса входит БЛА с комплектом колесных и лыжных шасси, наземный пункт управления со следящей антенной, наземные лабораторные средства моделирования и отладки, специальное программное обеспечение.

Взлетная масса самолета 60 кг. Может нести до 20 кг полезной нагрузки, развивать скорость до 140 км/ч, находиться в воздухе до 10 ч, подниматься на высоту 3 км. Взлет и посадка осуществляются по

самолетному с асфальтобетонных ВПП на колесных или заснеженного грунта на лыжных шасси.



Рисунок 1 – Состав летающей лаборатории

Высокая живучесть изделия обеспечивается реконфигурируемой системой управления (позволяет проводить испытательные полеты без риска возникновения опасных ситуаций) и аварийной системой парашютной посадки. Основные тактико-технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Тактико-технические характеристики БЛА

Характеристика	Значение
взлетная масса	60 кг
масса полезной нагрузки	до 20 кг
высота полета	до 3000 м
скорость полета	70-140 км/ч
продолжительность полета	до 10 ч
дальность действия радиосвязи	до 30 км
скорость передачи информации	до 250 кбит/с (дуплекс)
тип силовой установки	ДВС (16 л.с., бензин)
мощность бортового генератора	300 Вт
взлёт и посадка	по-самолётному

Большой объем отсеков и достаточное количество технологических люков для размещения полезной нагрузки, мощный генератор, наличие высокоскоростного канала передачи данных (обеспечивает передачу информации со скоростью до 250 кбит/с на дальностях до 30 км), многофункциональная оснастка при высокой

тяговооруженности обеспечивает решение широкого спектра исследовательских задач.

Надежная система связи и специальное макроконфигурируемое программное обеспечение на базе сертифицированной операционная система реального времени QNX Neutrino 6 позволяет организовать устойчивое функционирование комплекса, планирование и проведение экспериментальных полетов при одновременном управлении БЛА с нескольких рабочих мест, а также проведение тренажей операторов управления.

Гиросtabilизированное трех-осевое опорно-поворотное устройство позволяет вести фото-видео съемку с высот до 1,5 км с захватом и слежением за выбранным объектом.

Работа над созданием комплекса велась с 2014 года совместно с научно-производственным предприятием АВАКС-ГеоСервис (г. Красноярск). В 2016 году создан опытный образец (рисунок 2) и проведен комплекс испытаний, подтвердивший заявленные характеристики.



Рисунок 2 – Стадии создания комплекса

Отличительной особенностью комплекса является использование только отечественные комплектующих с высоким процентом использования отечественной элементной базы и современных композиционных материалов. В комплексе реализованы уникальные технические решения, такие как макроконфигурируемая система управления, унифицированное устройство ввода-вывода (для

сопряжения с исследовательским оборудованием и целевыми нагрузками), многофункциональная система технического зрения, которая может использоваться для решения широкого круга задач автоматизации на наиболее сложных этапах полета: таких как посадка, дозаправка в воздухе и групповой полет.

В состав лабораторных средств моделирования и отладки (рисунок 3) входит аппаратное обеспечение на базе реального цифрового комплекса управления БЛА и программное обеспечение в виде математических моделей динамики полета и специализированного управляющего программного обеспечения. Комплекс дополняется необходимой контрольно-поверочной аппаратурой (поворотный стол, оборудование проверки анероидно-мембранных приборов и др) и измерительным оборудованием.



Рисунок 3 – Лабораторные средства моделирования и отладки

Лабораторные средства предназначены для наземной отработки всех систем БЛА в лабораторных условиях с целью предварительной отладки оборудования и качественного планирования экспериментов и решают следующие задачи:

- моделирование и анализ полета БЛА на всех режимах полета,
- расчет и коррекция регуляторов системы автоматического управления,

- оценка точностных характеристик датчиков инерциальной навигационной системы,

- тестирование и отладка всех компонентов комплекса управления,
- планирование маршрута и профиля полета,

- интеграция экспериментального оборудования и целевых нагрузок,

- предварительное планирование и отработка в лабораторных условиях экспериментов,

- тренировка операторов БЛА и инженерно-технического состава.

С использованием средств отладки новые технические решения и

алгоритмы возможно обрабатывать на земле еще до проведения реальных полетов. В Военно-воздушной академии с использованием летающей лаборатории обрабатывается способ автоматической посадки на базе запатентованной системы технического зрения (СТЗ) [1]. Измерительная система СТЗ производит захват и распознавание оптических или ИК-меток, установленных на полосе, специальный алгоритм обеспечивает вычисление положения самолета относительно ВПП и формирует виртуальную траекторию посадки в заданную точку. Предварительно была проведена интеграция СТЗ с бортовым комплексом управления, в настоящее время проводятся полунатурные исследования системы в режиме посадки на ВПП в условиях плохой видимости (рисунок 4). Моделирование демонстрирует устойчивость к возмущениям, работоспособность системы в разное время суток, а также в сложных погодных условиях.

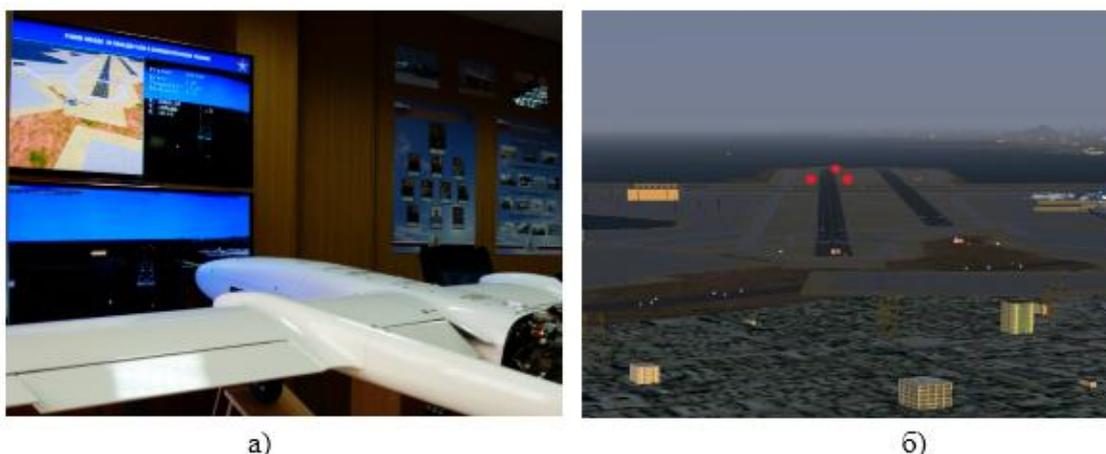


Рисунок 4 – Экспериментальная отработка автоматического захода на посадку с использованием системы технического зрения (а – внешний вид моделирующего комплекса, б – визуальная обстановка зоны захода на посадку)

Предлагается использование летающей лаборатории в качестве платформы для проведения научных исследований и испытаний бортового и наземного РЭО. На ее базе предполагается решение ряда задач Министерства обороны и промышленности в интересах обороноспособности страны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ №2357240. Приоритет 23.04.2007. Способ определения местоположения и углов ориентации летательного аппарата относительно взлетно-посадочной полосы и устройство для его осуществления. Ипполитов С.В., Бондарев В.Г., Конотоп В.И., Гузеев А.Е., Лейбич А.А.

Архипкин А.В., к.т.н., заместитель генерального директора по ОКР, ООО «Каскад»

### **Аппаратура передачи данных для комплекса с БЛА легкого класса**

Для комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) военного назначения необходима аппаратура передачи данных (АПД), к которой предъявляются повышенные специальные требования.

Как правило, специфика применения комплексов с БЛА диктует следующие требования к АПД [1]:

- высокие (десятки Мбит/сек) скорости передачи информации в прямом канале;

- асимметрия прямого и обратного канала по скорости передачи информации;

- минимальные задержки в канале (работа в режиме реального времени);

- возможность работы в сложной электромагнитной обстановке, при наличии естественных и преднамеренных помех (помехозащищенность), в условиях многолучевого распространения сигналов;

- гибкость и адаптивность канала связи по скорости передачи информации, спектральной эффективности и выходной мощности; наличие режимов адаптации по излучаемой мощности, пропускной способности и частоте излучения в зависимости от помеховой обстановки и дальности управления;

- возможность обеспечивать максимально-скрытную радиосвязь (разведзащищенность);

- ограничения на потребляемую мощность АПД БЛА, от которой непосредственно зависит время автономной работы БЛА;

- возможность использования на БЛА смарт-антенн для увеличения скрытности и энергоэффективности радиоканала;

Для комплексов с БЛА, в которых в качестве полезной нагрузки используется аппаратура радиоразведки (РР) следует отдельно отметить требование электромагнитной совместимости (ЭМС) АПД с аппаратурой РР. Требование ЭМС может выполняться частотным разнесением АПД и аппаратуры РР, либо их поочередной работой.

Анализ перечисленных специфических требований к АПД показывает, что практическая реализация такой аппаратуры невозможна на базе известных стандартов связи (Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, DVB-T и др), использующих открытые протоколы.

Серьезными препятствиями к использованию открытых протоколов связи, являются:

- низкая информационная безопасность канала связи (криптостойкость);

- низкая имитостойкость (устойчивость к имитационной помехе, имеющей одинаковую с полезным сигналом структуру, что затрудняет ее обнаружение);

- отсутствие скрытных и помехозащищенных режимов работы.

Все вышеперечисленное говорит о том, что АПД для комплексов с БЛА должна быть специализированной. Практический опыт разработки АПД и анализ тенденций развития мировой индустрии в этой области показывает, что при построении АПД для комплексов с БЛА перспективной является технология ортогонального частотного уплотнения (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) в сочетании с различными методами адаптации канала радиосвязи к изменяющимся условиям эксплуатации (помеховая обстановка, условия распространения).

Причина этого заключается в ряде особенностей, которые делают технологию OFDM привлекательной для построения специализированной АПД различного назначения, в том числе и комплексов с БЛА [1,2], а именно:

- высокая спектральная эффективность, обусловленная почти прямоугольной формой огибающей спектра при большом количестве поднесущих;

- простая аппаратная реализация: базовые операции реализуются методами цифровой обработки;

- устойчивость к межсимвольной интерференции и интерференции между поднесущими, а как следствие - устойчивость к многолучевому распространению;

- возможность применения различных схем модуляции для каждой поднесущей, что позволяет адаптивно варьировать помехоустойчивость и скорость передачи информации.

Как правило на практике технология OFDM реализуется на ЭКБ импортного производства. Недостатками реализации технологии OFDM на импортной ЭКБ являются:

- риск снятия ЭКБ с производства;

- риск запрета поставок ЭКБ в РФ;

- необходимость проведения сертификационных испытаний и спецпроверок каждой партии ЭКБ;

- ограниченность ТТХ.

Перечисленные факторы ставят разработчиков и производителей оборудования в зависимость от поставок импортной ЭКБ и зачастую не

позволяют выполнить требования к комплексам с БЛА (особенно в части скрытности и конфиденциальности передаваемой информации).

Современные тенденции развития рынка микроэлектроники и телекоммуникаций диктуют разработку и применение так называемых «систем на кристалле» (System-on-Chip – SoC). Под устройствами класса «система на кристалле» (СнК) в общем случае понимаются устройства, на едином кристалле которых интегрированы один или несколько процессоров, функциональных устройств, некоторый объем памяти, ряд периферийных устройств и интерфейсов, — то есть максимум того, что необходимо для решения поставленных перед аппаратурой задач. Разработка систем на кристалле предполагает оптимизацию разрабатываемой схемотехники, что непосредственно сказывается на производительности (быстродействии), потребляемой мощности, габаритных размерах (площади кристалла) и, как следствие, стоимости.

Используемая в АПД для БЛА отечественная система на кристалле «Каскад1» [1,2] совмещает в себе производительный сетевой процессор стандартной архитектуры x86, аппаратную реализацию высокоскоростного OFDM-модема, криптомодуль по ГОСТ 28147-89, а также ряд вспомогательных IP-блоков. СнК изготавливается по технологическим нормам 65 нм, что позволяет производить ее в России. Основные характеристики СнК приведены в таблице 1, а ее структурная схема на рисунке 1.

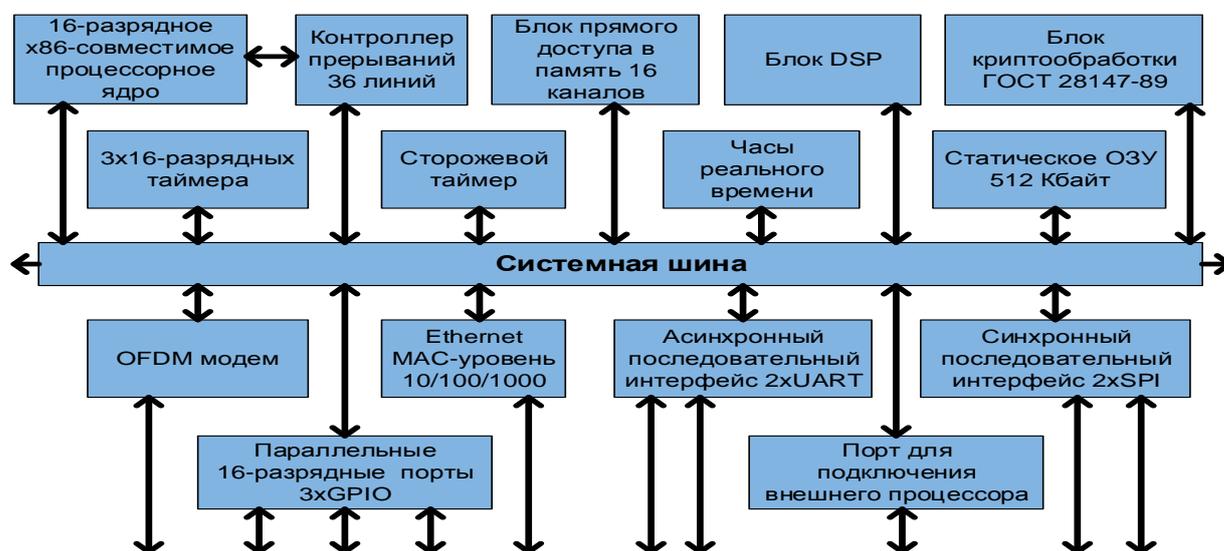


Рисунок 1 – Структурная схема СнК «Каскад1»

Таблица 1 – Основные характеристики СнК «Каскад1»

Параметр	Значение
<b>Сетевой процессор</b>	
Архитектура ядра	x86
Среднее число тактов на команду	1
ОЗУ	Внутреннее 512 Кбайт
Максимальная тактовая частота ядра процессора	500 МГц
Максимальная скорость шифрования по алгоритму ГОСТ 28147-89	400 Мбит/с
Максимальная скорость передачи по интерфейсу Ethernet	1000 Мбит/с
Стандартные интерфейсы	UART, SPI, GPIO
Контроллер прямого доступа к памяти	16 каналов
Программное обеспечение	Монитор, TASM, MASM, Borland C, Open Watcom 1.9
<b>OFDM модем</b>	
Максимальная полоса сигнала	56 МГц
Минимальная полоса сигнала (определяется допустимой задержкой в канале не более 100 мс)	15 кГц
База OFDM	256
Манипуляция поднесущих	BPSK, QPSK, QAM16, QAM64 (адаптивно)
Помехоустойчивое кодирование	Reed-Solomon + Viterbi
Перемежение	Двухступенчатое
Работа в движении	До 100 км/ч
<b>Общее</b>	
Технологические нормы	65 нм
Энергопотребление при максимальной вычислительной нагрузке	770 мВт
Криptomодуль	ГОСТ 28147-89
Корпус	BGA-256 пластиковый корпус, металлокерамический корпус

Из данных, приведенных в таблице 1 и на рисунке 1 видно, что функциональные возможности СнК соответствуют характеристикам, предъявляемым к современным системам цифровой радиосвязи. Выбор

архитектуры процессорного ядра x86 обоснован ее большой распространенностью применения, что позволяет использовать СнК как самостоятельный контроллер общего назначения, причем с характеристиками производительности сравнимыми с современными контроллерами на базе ARM архитектуры.

OFDM-модем в составе СнК представляет собой основу цифровой части аппаратуры радиосвязи, в которой реализованы модуляция/демодуляция OFDM с 256 поднесущими, манипуляция поднесущих методами BPSK, QPSK, QAM16 и QAM64, помехоустойчивое кодирование/декодирование (алгоритмы Reed-Solomon и Viterbi) и перемежение/деперемежение.

Наличие в составе СнК криптомодуля стандарта ГОСТ 28147-89 позволяет выполнить требование по шифрованию данных в канале связи, с минимальной задержкой на обработку, что является чрезвычайно важным параметром, особенно для БЛА радиоразведки.

Таким образом, использование отечественной СнК «Каскад1», реализующей функции сетевого процессора, OFDM-модема и криптомодуля позволяет унифицировать АПД для БЛА и АПД для пункта управления; обеспечить высокие эксплуатационные характеристики и снизить зависимость от поставок иностранной ЭКБ, что соответствует базовым положениям программы импортозамещения ключевых компонент электронной элементной базы при разработке ВВСТ.

На рисунке 2 приведен внешний вид приемопередатчика АПД на базе СнК «Каскад1», установленного на БЛА радиоразведки вертолетного типа легкого класса «Ворон-120» [3]. В таблице 2 приведены основные ТТХ приемопередатчика АПД.



Рисунок 2 – Внешний вид приемопередатчика АПД БЛА

Таблица 2 – Основные ТТХ АПД БЛА «Ворон-120»

Параметр	Значение
Метод формирования и обработки сигналов	OFDM + BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64 (адаптивно)
Помехоустойчивое кодирование	Reed-Solomon + Viterbi, с перемежением
Диапазоны рабочих частот (в зависимости от модификации)	3400-3600 МГц, 5100-5900 МГц
Ширина полосы сигнала	До 28 МГц
Пропускная способность	До 85 Мбит/сек (BW28МГц@QAM-64)
Выходная мощность передатчика	До 1 Вт
Потребляемая мощность	Не более 36 Вт
Интерфейс данных и управления	Ethernet 10/100Base-T
Напряжение питания	9...36 В
Диапазон рабочих температур	-40...+50 °С
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	166 x 130 x 32

К направлениям дальнейшего совершенствования АПД на основе СнК следует отнести:

- реализация криптоалгоритмов ГОСТ Р 34.12-2015, принятого в 2015 г.;
- увеличение скрытности АПД БЛА за счет увеличения базы сигнала;
- разработка и применение в АПД пункта управления следящего привода для увеличения энергоэффективности канала связи.

#### Список источников:

1 Система на кристалле "Каскад-1" для создания аппаратуры радиосвязи специального и гражданского назначения // А.В.Архипкин, Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» в рамках Международного форума информатизации МФИ-2016, Москва, 2016, сс.106-108.

2 Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы Каскад-1 №20166330102.

3 А.В.Виноградов, И.В.Зайцев, А.А., Развитие наземной мобильной техники радиоподавления радиосвязи на основе ее оснащения беспилотными вертолетами // Военная мысль №4, 2017, сс.56-60.

Богдановский С.В., адъюнкт, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (г. Санкт-Петербург)

Симонов А.Н., к.т.н., доцент, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (г. Санкт-Петербург)

### **Поляризационно-адаптивная обработка радиоизлучений в определении местоположения радиоэлектронных средств с беспилотных летательных аппаратов**

Одной из определяющих тенденций в развитии вооружения и военной техники в ведущих ВС зарубежных государств, получившая значительное ускорение в начале XXI века, является развитие робототехники, в частности беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Однако использование БЛА в качестве платформы для развертывания средств радиомониторинга приводит к возникновению ряда проблем, основными из которых являются [1]: увеличение уровня помех и связанное с ним снижение отношения сигнал/шум на входе бортового радиоприемного устройства (РПУ); ограничение массогабаритных показателей полезной нагрузки на БЛА, которые не позволяют разместить на нем эффективные антенные системы и многоканальные РПУ; нестабильность ориентации БЛА в пространстве, которая приводит к резкому увеличению ошибок пеленгования и к снижению точности определения координат источников радиоизлучений (ИРИ).

Таким образом существует необходимость разработки современных способов определения местоположения (ОМП) ИРИ в условиях априорной неопределенности относительно поляризационных и пространственных параметров радиосигналов, шумов и помех, а также при ограничениях на габаритные размеры антенной системы БЛА.

При определении координат ИРИ с борта БЛА используются несколько систем координат, среди которых выделяют геоцентрическую систему координат (СК), топоцентрическую СК и СК БЛА (рисунок 1).

В процессе полета измеряются параметры радиоизлучения в СК БЛА  $O_{ла}X_{ла}Y_{ла}Z_{ла}$ , центр которой связан с центром антенной системы (АС) БЛА. При построении плоскости положения, вычислении линий положения и определении координат ИРИ используется топоцентрическая СК  $O_{т}X_{т}Y_{т}Z_{т}$ .

В процессе определения координат ИРИ необходимо учитывать ориентацию АС относительно топоцентрической СК. Учет ориентации твердого тела в трехмерном пространстве осуществляется по методу

углов Эйлера, с помощью последовательных поворотов вокруг осей  $Z$ ,  $Y$ ,  $X$  на соответствующие углы  $\xi_\alpha$ ,  $\xi_\beta$ ,  $\xi_\gamma$  (рисунок 2).

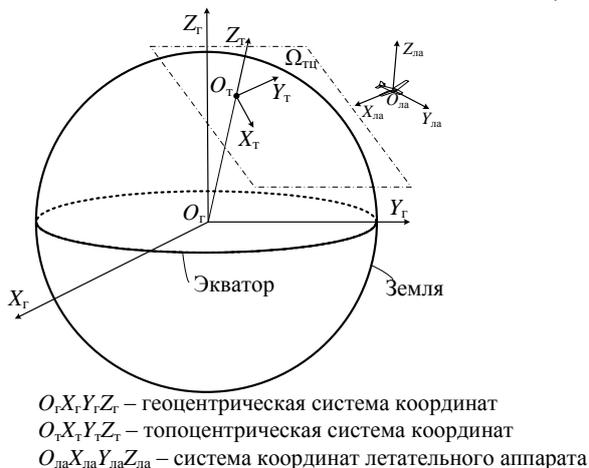


Рисунок 1 – Системы координат, используемые при расчетах координат ИРИ

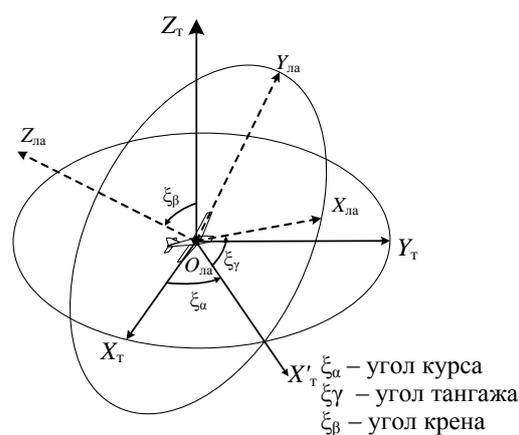


Рисунок 2 – Углы ориентации летательного аппарата в трехмерном пространстве

При пеленговании ИРИ с борта БЛА требуемая точность определения координат достигается за счет сокращения расстояния до ИРИ, однако при этом прием радиосигналов осуществляется при углах места  $\beta = 45-90^\circ$ , что приводит к уменьшению коэффициента согласования по поляризации между приемной АС и полем приходящей электромагнитной волны. Снижение коэффициента согласования по поляризации вызывает уменьшение точности определения координат ИРИ с борта БЛА.

Традиционно физической основой любого метода радиопеленгования принято считать различие времени прихода лучей в разнесенные точки пространства с использованием распределенной АС. Однако согласно разработанного способа ОМП ИРИ с борта летательного аппарата [1] существует возможность определения направления на ИРИ с помощью сосредоточенной антенной системы, способной определить поляризацию радиосигнала в точке приема.

Учет поляризационных параметров радиоволны возможен за счет измерения пространственного положения вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$  в пространстве для чего необходимо определить три ортогональные составляющие вектора напряженности в системе координат БЛА  $O_{ла} X_{ла} Y_{ла} Z_{ла}$  [2].

Пространственная ориентация вектора напряженности электрического поля на борту БЛА  $\vec{E}_{ла}$  определяется с помощью триортогональной антенной системы (ТОАС), для чего измеряются три составляющие вектора напряженности электрического поля  $E_{xi}$ ,  $E_{yi}$ ,  $E_{zi}$  в заданные моменты времени  $t_i$ , которые являются электродвижущими

силами, наведенными на первом, втором и третьем антенных элементах ТОАС соответственно (рисунок 3).

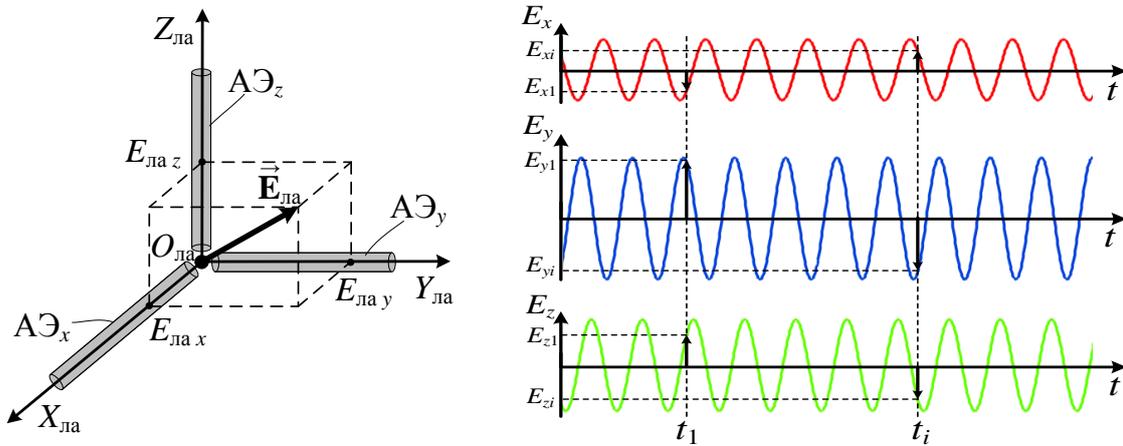


Рисунок 3 – Пространственная ориентация вектора напряженности электрического поля

Измеренные параметры вектора напряженности электрического поля преобразуется в топоцентрическую СК за счет последовательного перемножения измеренного вектора  $\vec{E}_{ла}$  на три матрицы поворота  $A_3(\xi_\alpha)$ ,  $A_2(\xi_\beta)$ ,  $A_3(\xi_\gamma)$  соответствующие углам Эйлера  $\xi_\alpha$ ,  $\xi_\beta$ ,  $\xi_\gamma$  [3]:

$$\vec{E}_T = A_3(\xi_\alpha) A_2(\xi_\beta) A_3(\xi_\gamma) \vec{E}_{ла}.$$

Для устранения ошибок пеленгования, вызванных особенностью разработанного способа пеленгования, осуществляются процедуры обработки по предложенным критериям превышения амплитудного порога и соответствия угловым границам цензурирования. Обработка по критерию превышения амплитудного порога заключается в выборе для расчета азимута и угла места на ИРИ только тех значений векторов напряженности электрического поля, значения длин (амплитуд) которых превышает пороговое значение критерия  $|\mathbf{E}_k| \geq E_{пор}$  (рисунок 4, а).

В качестве угловых границ цензурирования предлагается использовать значения угла между векторами  $\mathbf{E}_i$  и  $\mathbf{E}_j$ , измеренных в различные моменты времени. Выбор значений границ цензурирования зависит от эллиптичности принятого радиосигнала в зависимости от коэффициента эллиптичности согласно критерию (рисунок 4, б):

$$\varphi_{\min} \leq \varphi_{ij} \leq \varphi_{\max},$$

где  $\varphi_{\min} = \arctg(r)$  – минимальное значение угла  $\varphi_{ij}$ ;  $\varphi_{\max} = \pi - \arctg(r)$  – максимальное значение угла  $\varphi_{ij}$ ;  $r$  – эллиптичность радиосигнала.

Значение угла между векторами  $\mathbf{E}_i$  и  $\mathbf{E}_j$  вычисляется согласно выражения [3]:

$$\varphi_{ij} = \arcsin \left( \frac{|\vec{\mathbf{E}}_i \times \vec{\mathbf{E}}_j|}{|\vec{\mathbf{E}}_i| |\vec{\mathbf{E}}_j|} \right) = \arcsin \left( \frac{\sqrt{(E_{yi}E_{zj} - E_{zi}E_{yj})^2 + (E_{zi}E_{xj} - E_{xi}E_{zj})^2 + (E_{xi}E_{yj} - E_{yi}E_{xj})^2}}{\sqrt{(E_{xi})^2 + (E_{yi})^2 + (E_{zi})^2} \cdot \sqrt{(E_{xj})^2 + (E_{yj})^2 + (E_{zj})^2}} \right)$$

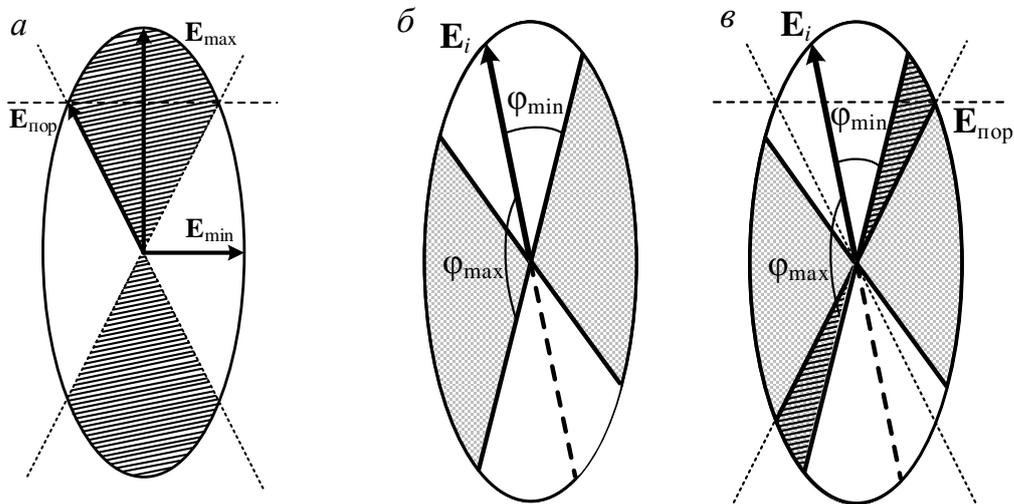


Рисунок 4 – Принцип определения превышения амплитудного порога и соответствия угловым границам цензурирования: а) обработка по критерию  $|E_k| \geq E_{пор}$ ; б) обработка по критерию  $\varphi_{min} \leq \varphi \leq \varphi_{max}$ ; в) совместная обработка по критерию  $|E_k| \geq E_{пор}$  и  $\varphi_{min} \leq \varphi \leq \varphi_{max}$

В поляризационном способе пеленгования ИРИ линия пеленга определяется как линия пересечения двух плоскостей положения, проходящих через центр АС и к которым перпендикулярны вектора напряженности электрического поля  $\mathbf{E}_i$  и  $\mathbf{E}_j$  (рисунок 5).

Учитывая, что в прямоугольной системе координат направляющий вектор не отделим от прямой линии [3], при определении параметров линии пеленга достаточно определить параметры направляющего вектора  $l_{ij}$ . На основе теории электромагнитного поля разработанной Д. К. Максвеллом для нахождения параметров направляющего вектора  $l_{ij}$  необходимо найти векторное произведение векторов  $\mathbf{E}_i$  и  $\mathbf{E}_j$ :

$$\vec{l}_{ij} = \vec{\mathbf{E}}_i \times \vec{\mathbf{E}}_j = \left( (E_{yi}E_{zj} - E_{zi}E_{yj}), (E_{zi}E_{xj} - E_{xi}E_{zj}), (E_{xi}E_{yj} - E_{yi}E_{xj}) \right)$$

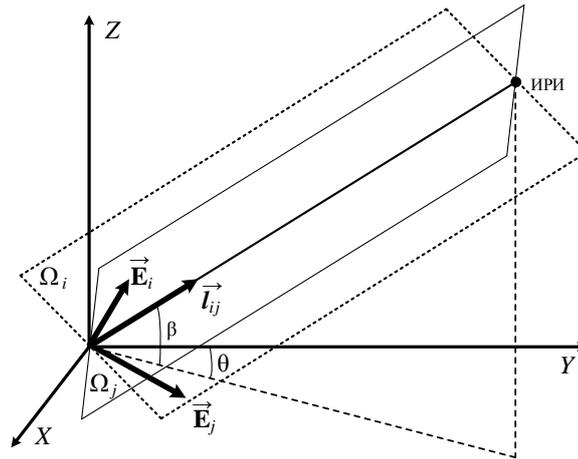


Рисунок 5 – Графическое представление определения линии пеленга на ИРИ

Азимут на ИРИ является углом между проекцией направления на ИРИ на горизонтальную плоскость и линией принятой за начало отсчета (осью  $OY$ ). Угол места на ИРИ определяется углом между направлением на ИРИ и проекцией на горизонтальную плоскость [4].

Вычисление значения азимута  $\theta_{ij}$  и угла места  $\beta_{ij}$  для каждой линии пеленга  $l_{ij}$  определяется выражениями:

$$\theta_{ij} = \operatorname{arctg} \left( \frac{E_{zi}E_{xj} - E_{xi}E_{zj}}{E_{yi}E_{zj} - E_{zi}E_{yj}} \right),$$

$$\beta_{ij} = \operatorname{arcsin} \left( \frac{\sqrt{(E_{yi}E_{zj} - E_{zi}E_{yj})^2 + (E_{zi}E_{xj} - E_{xi}E_{zj})^2 + (E_{xi}E_{yj} - E_{yi}E_{xj})^2}}{E_{xi}E_{yj} - E_{yi}E_{xj}} \right).$$

Для расчета координат ИРИ разработан алгоритм прямого расчета координат ИРИ в пространстве на основе метода наименьших квадратов, суть которого заключается в том, что за местоположение ИРИ принимают координаты точки  $(x_0, y_0, z_0)$ , сумма квадратов расстояний  $p_i$  от которой до линий положения минимальна (рисунок 6).

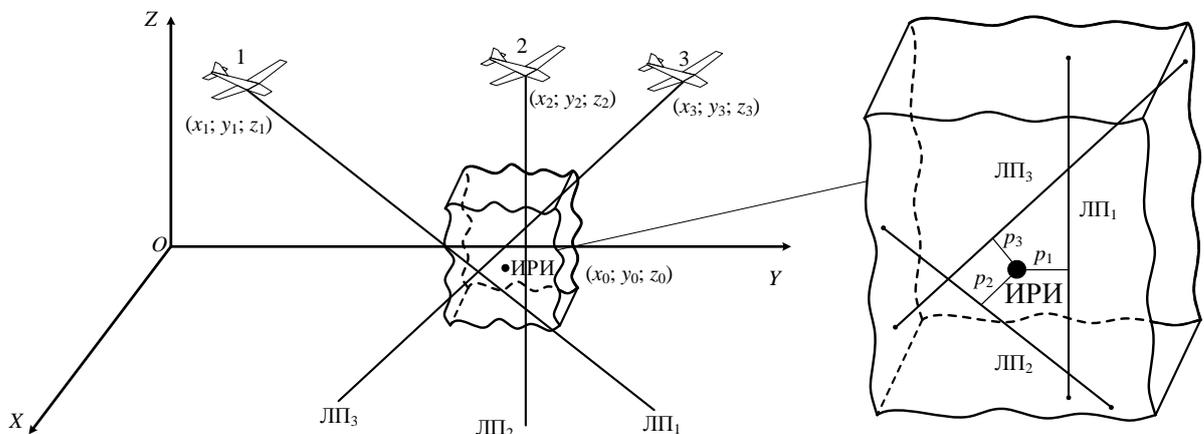


Рисунок 6 – Графическое представление определения координат ИРИ в пространстве

Аналитическая запись этого условия имеет вид:

$$q(x_0, y_0, z_0, \theta_i, \beta_i) = \sum_{i=1}^n p_i^2 = \min,$$

где  $p_i$  – расстояние от точки  $(x_0, y_0, z_0)$  до линии  $i$ -го пеленга.

Линией пеленга (ЛП) является прямая в пространстве описываемая азимутом  $\theta_i$  и углом места  $\beta_i$  на ИРИ от  $i$ -го пеленгатора.

Расстояние от искомой точки  $(x_0, y_0, z_0)$  до  $i$ -ой ЛП (рисунок 6) определяются выражением вида:

$$p_i = \frac{\sqrt{\begin{vmatrix} a_{yi} & a_{zi} \\ y_i - y_0 & z_i - z_0 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} a_{zi} & a_{xi} \\ z_i - z_0 & x_i - x_0 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} a_{xi} & a_{yi} \\ x_i - x_0 & y_i - y_0 \end{vmatrix}^2}}{\sqrt{a_{xi}^2 + a_{yi}^2 + a_{zi}^2}},$$

где  $a_{xi} = \cos(\theta_i)$ ;  $a_{yi} = \sin(\theta_i)$ ;  $a_{zi} = \text{tg}(\beta_i)$ ;  $(x_i; y_i; z_i)$  – координаты  $i$ -го пеленгатора;  $\theta_i, \beta_i$  – измеренные значения азимута и угла места на ИРИ от  $i$ -го пеленгатора соответственно

Параметр  $q(x_0, y_0, z_0, \theta_i, \beta_i)$  принимает минимальное значение при таких  $(x_0, y_0, z_0)$ , в которых значения частных производных по координатам  $x, y$  и  $z$  равны нулю:

$$\frac{dq}{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{dp_i^2}{dx} = 0; \quad \frac{dq}{dy} = \sum_{i=1}^n \frac{dp_i^2}{dy} = 0; \quad \frac{dq}{dz} = \sum_{i=1}^n \frac{dp_i^2}{dz} = 0.$$

Определив частные производные по  $dx, dy$  и  $dz$  от  $q(x_0, y_0, z_0, \theta_i, \beta_i)$ , получим:

$$\frac{dq}{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{dp_i^2}{dx} = \sum_{i=1}^n A_i x_0 - \sum_{i=1}^n D_i y_0 - \sum_{i=1}^n G_i z_0 - \sum_{i=1}^n A_i x_i + \sum_{i=1}^n D_i y_i + \sum_{i=1}^n G_i z_i = 0;$$

$$\frac{dq}{dy} = \sum_{i=1}^n \frac{dp_i^2}{dy} = - \sum_{i=1}^n D_i x_0 + \sum_{i=1}^n B_i y_0 - \sum_{i=1}^n F_i z_0 + \sum_{i=1}^n D_i x_i - \sum_{i=1}^n B_i y_i + \sum_{i=1}^n F_i z_i = 0;$$

$$\frac{dq}{dz} = \sum_{i=1}^n \frac{dp_i^2}{dz} = - \sum_{i=1}^n G_i x_0 - \sum_{i=1}^n F_i y_0 + \sum_{i=1}^n C_i z_0 + \sum_{i=1}^n G_i x_i + \sum_{i=1}^n F_i y_i - \sum_{i=1}^n C_i z_i = 0,$$

$$\text{где} \quad A_i = 2 \sin^2(\beta_i) + 2 \sin^2(\theta_i) \cos^2(\beta_i),$$

$$B_i = 2 \sin^2(\beta_i) + 2 \cos^2(\theta_i) \cos^2(\beta_i), \quad C_i = 2 \cos^2(\beta_i),$$

$$D_i = 2 \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) \cos^2(\beta_i), \quad G_i = 2 \sin(\beta_i) \cos(\beta_i) \cos(\theta_i),$$

$$F_i = 2 \sin(\theta_i) \sin(\beta_i) \cos(\beta_i).$$

После преобразования получим систему линейных уравнений вида:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n A_i x_0 - \sum_{i=1}^n D_i y_0 - \sum_{i=1}^n G_i z_0 = \sum_{i=1}^n A_i x_i - \sum_{i=1}^n D_i y_i - \sum_{i=1}^n G_i z_i \\ - \sum_{i=1}^n D_i x_0 + \sum_{i=1}^n B_i y_0 - \sum_{i=1}^n F_i z_0 = - \sum_{i=1}^n D_i x_i + \sum_{i=1}^n B_i y_i - \sum_{i=1}^n F_i z_i \\ - \sum_{i=1}^n G_i x_0 - \sum_{i=1}^n F_i y_0 + \sum_{i=1}^n C_i z_0 = - \sum_{i=1}^n G_i x_i - \sum_{i=1}^n F_i y_i + \sum_{i=1}^n C_i z_i \end{cases}$$

Координаты ИРИ как результат решения системы уравнений рассчитываются одним из известных методов, например, матричным методом или методом Крамера [3].

Для оценивания эффективности разработанного способа проведено математическое моделирование, в качестве исходных данных использовалось произвольно поляризованное радиоизлучение на входе АС БЛА [5].

Проведенный анализ зависимости среднеквадратической ошибки измерения координат от отношения сигнал/шум и эллиптичности ЭМВ показал, что разработанный способ позволяет повысить точность определения координат ИРИ от 5 до 30% (рисунки 7 а и б).

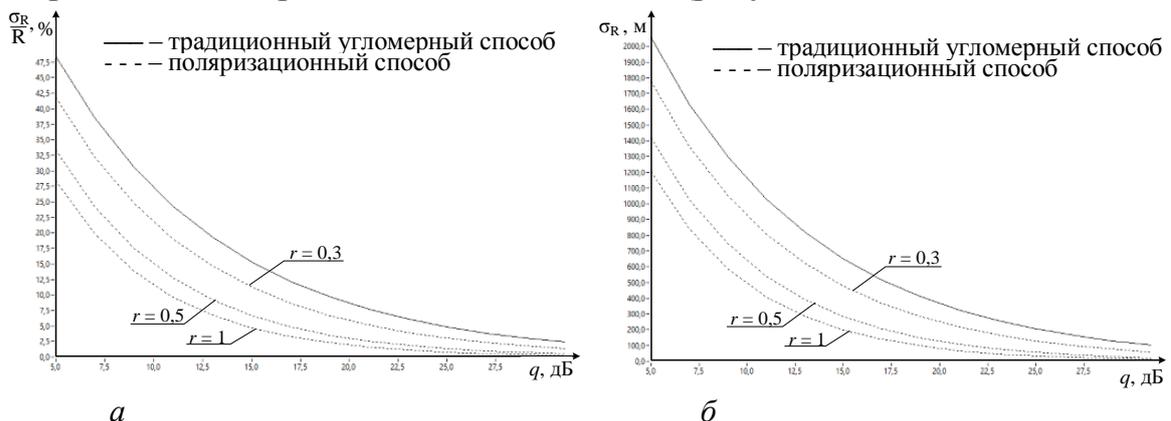


Рисунок 7 – Зависимость среднеквадратической ошибки измерения координат ИРИ от ОСШ, при различной эллиптичности ( $r$ ): а – выраженная в % от дальности; б – в метрах при дальности до ИРИ 4500 м.

Таким образом, в разработанном способе поляризационно-адаптивной обработки радиоизлучений в ОМП ИРИ с БЛА в отличие от традиционного понимания пространственно-поляризационной обработки как способа оптимизации приема, поляризация радиоизлучения используется в качестве координатно-информативного параметра. Повышение точности измерения координат ИРИ обеспечивается дополнительными процедурами выбора порогов и границ предварительной обработки, которая позволяет исключить грубые промахи и сократить временные затраты на вычисление пеленга на ИРИ.

## Список использованной литературы

1. Богдановский С. В., Волков Р. В., Севидов В. В., Симонов А. Н. Способ поляризационного пеленгования радиосигналов. Заявка на изобретение № 2016141188 от 19.10.2016.
2. Комарович В. Ф., Никитченко В. В. Методы пространственной обработки радиосигналов. – Л.: ВАС, 1989. – 278 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
4. Дворников С.В., Саяпин В.Н., Симонов А.Н. Теоретические основы координатометрии источников радиоизлучений. – СПб.: ВАС, 2007. – 80 с.
5. Богдановский С. В., Симонов А. Н., Теслевич С. Ф., Медведев М. В. Программа моделирования произвольно поляризованного радиоизлучения на основе математического аппарата кватернионов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ в ФИПС (Роспатент) № 2015661417 от 22.10.2015. Бюл. № 11.

Гайдин А.П., научный сотрудник, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (г. Санкт-Петербург);

Симонов А.Н., к.т.н., доцент, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (г. Санкт-Петербург)

### **Оценивание допустимого искажения ЛЧМ-импульсов в задачах имитации воздушных целей с БЛА**

В след за ведущими разработчиками беспилотных летательных аппаратов, основными из которых являются израильские и американские фирмы, в России, в настоящее время проявляется большой интерес к созданию средств различного назначения на беспилотной платформе. Беспилотные летательные аппараты (БЛА) российского производства имеют достаточные конкурентоспособные возможности по летно-техническим параметрам [1].

БЛА демонстрируют соизмеримые с самолетами и вертолетами возможности по высоте, скорости и маневренности, однако в отличие от них обладают рядом дополнительных достоинств, в том числе малой заметностью.

Выполненные производителями БЛА измерения контрастной температуры по выделенным контурам объекта относительно типового участка фона, доказывают малую заметность БЛА так же в ИК.

За счет изготовления корпуса БЛА из композитных материалов эффективная поверхность рассеивания (ЭПР) беспилотника в десятки раз меньше ЭПР традиционных воздушных целей.

Учитывая отмеченные особенности, представляет интерес разработка средств имитации воздушных целей на борту беспилотного летательного аппарата. Принцип имитации основан на том, что беспилотник, сам оставаясь не обнаруженным, находясь на безопасном расстоянии, излучает сигналы, имитирующие отраженные от целей импульсы, формируя на экранах РЛС ложные отметки.

Такой имитатор может найти широкое применение при решении самых различных задач. Например, он может быть использован для вскрытия системы радиотехнического обеспечения, за счет формирования на обзорной РЛС такой воздушной обстановки, которая заставит систему ПВО задействовать все имеющиеся средства радиолокационного наблюдения, а возможно и средства поражения – истребительную авиацию и зенитно-ракетные комплексы. Это приводит не только к расходованию ресурса авиации ПВО, ракетных и артиллерийских боекомплектов, но и оказывает психологическое воздействие на личный состав противника в обстановке “наличия” целей для поражения и отсутствие каких-либо результатов поражения,

а также подрывает уверенность в своем оружии и притупляет внимание противника.

Кроме провокационных действий могут решаться задачи прикрытия собственной авиации. Для реализации прикрытия необходима постановка помех, согласованная с маршрутом полета авиации по месту и времени. Так же возможно прикрытие авиации сразу же от нескольких РЛС в зависимости от технологии воздействия на РЛС и взаимного расположения радиолокационных станций, БЛА и прикрываемой авиационной группы.

Возможно использовать беспилотник для срыва атаки армейской авиации противника за счет излучения сигналов, вызывающих срабатывание в кабине вертолета системы предупреждения о радиолокационном облучении. При возникновении такой ситуации в большинстве случаев экипаж вертолета примет решение о прекращении атаки и вывода машины из зоны действия истребителя, т.к. вертолет в соотношении с ним является слабозащищенным.

Решение этих задач невозможно без предварительной оценки и постоянного контроля параметров РЛС, которые должен осуществлять комплект средств измерения, совмещенный с аппаратурой имитации. Для разработки такого комплекта необходимо предварительно сформировать требования к нему по диапазону и точности оценивания параметров, в том числе параметров внутриимпульсной модуляции.

В радиолокации чаще других используются импульсы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-импульсы), т.к. они позволяют не просто обнаружить сигнал, но одновременно измерить некоторые из его параметров, например, положение во времени или мгновенную частоту [2].

От стабильности параметров ЛЧМ-импульса зависит согласование принимаемого сигнала с ЛЧМ-фильтром. Основными параметрами, от которых зависит согласованность входного сигнала и фильтра являются: несущая частота, девиация частоты и длительность импульса. В реальных условиях возникают искажения сигнала из-за влияния среды распространения. Это приводит к тому, что параметры ЛЧМ-импульса не совпадают с параметрами фильтра.

Рассогласование по несущей частоте  $f_0$  относительно центральной частоты  $f_{0\phi}$  согласованного фильтра приводит к смещению  $\Delta t$  отклика на выходе согласованного ЛЧМ-фильтра, уменьшению его амплитуды и увеличению его длительности (Рисунок 1). При этом рассогласование в сторону увеличения частоты ( $f_0 > f_{0\phi}$ ) приводит к тому, что отклик появляется позже, а рассогласование с сторону уменьшения частоты ( $f_0 < f_{0\phi}$ ) приводит к тому, что отклик появляется раньше.

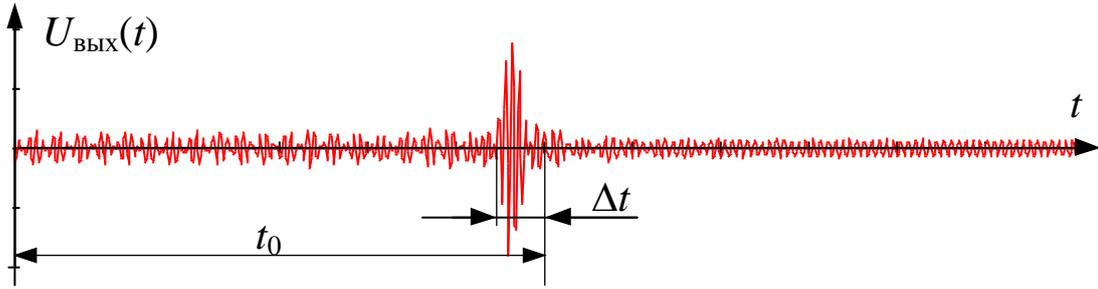


Рисунок 1 – Отклик на выходе согласованного ЛЧМ-фильтра при рассогласовании по центральной частоте

Рассогласование по длительности импульса ( $\tau_{и} \neq \tau_{иф}$ ) и по девиации частоты ( $\Delta f_{и} \neq \Delta f_{иф}$ ) приводит к аналогичным искажениям (Рисунок 2, 3).

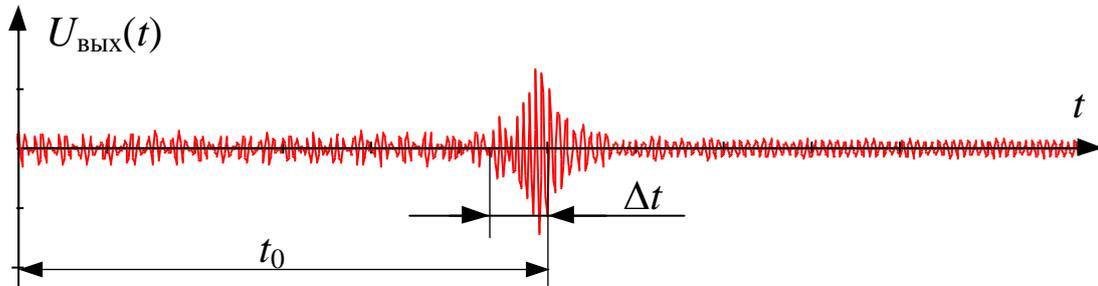


Рисунок 2 – Отклик на выходе согласованного ЛЧМ-фильтра при рассогласовании по длительности импульса

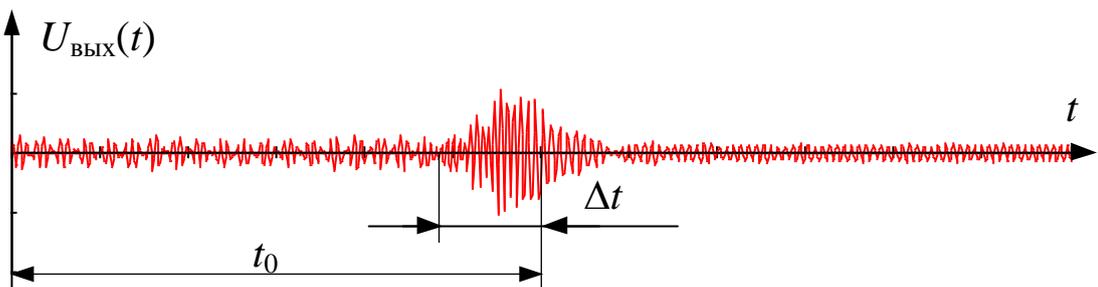


Рисунок 3 – Отклик на выходе согласованного ЛЧМ-фильтра при рассогласовании по девиации частоты ( $\Delta f_{и} \neq \Delta f_{иф}$ )

Для оценивания допустимого диапазона нестабильности параметров ЛЧМ-импульса на качество согласованной фильтрации получены зависимости искажений выходного отклика ЛЧМ фильтра от величины ошибки задания параметров входного сигнала. Зависимости

смещения отклика ЛЧМ-импульса от расстройки по центральной частоте, рассогласования по длительности импульса и девиации частоты иллюстрируются на рисунках 4,5,6.



Рисунок 4 – Зависимость смещения отклика ЛЧМ-импульса от расстройки по центральной частоте

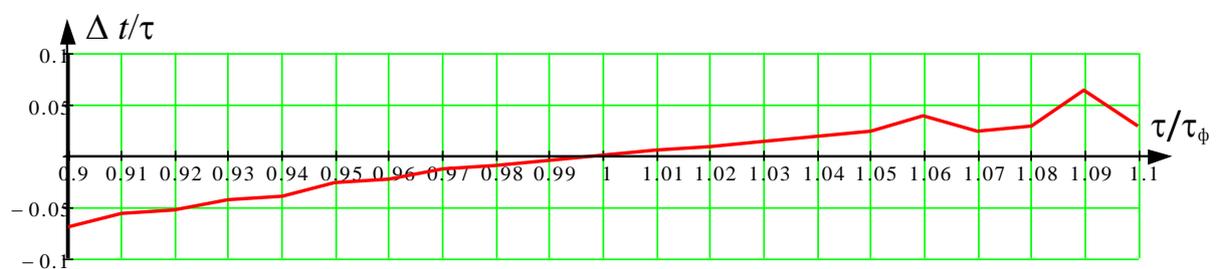


Рисунок 5 – Зависимость смещения отклика ЛЧМ-импульса при рассогласовании по длительности импульса



Рисунок 6 – Зависимость смещения отклика ЛЧМ-импульса при рассогласовании по девиации частоты

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 4,5,6 позволяет сделать следующие выводы:

расстройка согласованного фильтра по несущей частоте даже на 1%  $\left( \frac{f_0 - f_{0\phi}}{f_{0\phi}} = 0,01 \right)$  приводит к ошибке определения момента прихода импульса в 2% от длительности импульса ( $\Delta t = 0,02\tau$ ), при расстройке в 5% – ошибка составит 10%;

при рассогласовании по длительности импульса или по девиации частоты на 1%  $\left( \frac{\tau - \tau_{\phi}}{\tau_{\phi}} = 0,01 ; \frac{\Delta f - \Delta f_{\phi}}{\Delta f_{\phi}} = 0,01 \right)$  ошибка определения момента прихода импульса составит 1% от длительности импульса ( $\Delta t = 0,01\tau$ ), при рассогласовании в 5% – ошибка составит 2,5%.

Такие ошибки в определении момента прихода импульса будут приводить к ошибкам измерения дальности. Наибольшее влияние оказывает ошибка при расстройке согласованного фильтра по несущей частоте. На рисунке 7 представлены зависимости ошибки определения дальности  $\Delta R$  от величины расстройки фильтра при разной длительности импульса.

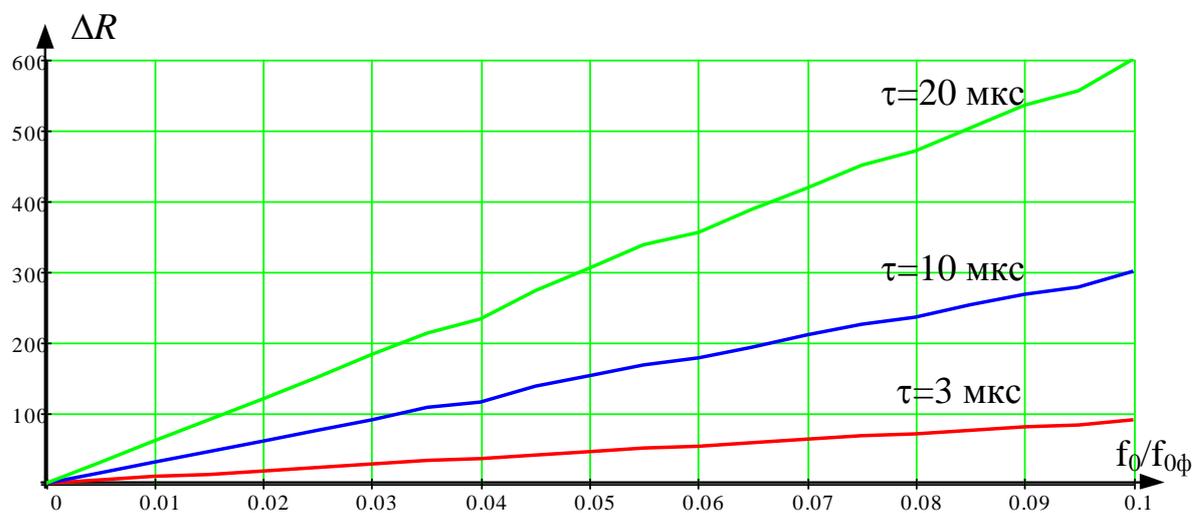


Рисунок 7 – Зависимости ошибки определения дальности  $\Delta R$  от величины расстройки фильтра

Анализ полученных зависимостей позволяет формировать требования к стабильности и точности параметров ЛЧМ импульсов при решении практических задач согласованной фильтрации в условиях приема радиосигналов, искаженных влиянием различных факторов среды распространения радиоволн.

#### Список литературы

1. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М., Адамовский В.В., Красноперов Р.А. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние.–Уфа: ФОТОН, 2014.– 217с.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учеб. Для вузов по спец. «Радиотехника».– М.:Высш.шк., 2003.– 462с.

Гареев М.Ш., к.т.н., зам. начальника филиала ФГБУ «27 ЦНИИ» Минобороны России (г. Иннополис);

Котляр А.В., к.т.н., начальник филиала ФГБУ «27 ЦНИИ» Минобороны России (г. Иннополис);

Кулеев Р.Ф., к.т.н., старший научный сотрудник филиала ФГБУ «27 ЦНИИ» Минобороны России (г. Иннополис);

Янин Д.М., к.т.н., ведущий научный сотрудник филиала ФГБУ «27 ЦНИИ» Минобороны России (г. Иннополис)

## **Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов по изображениям, полученным с БЛА**

Необходимость автоматической обработки и анализа видеоизображений возникает при решении различных прикладных задач, включая задачи автоматизации управления техническими средствами, наблюдения местности, захвата и сопровождения цели, в том числе при использовании БЛА.

Спецификой задачи обнаружения и сопровождения объектов по изображениям, полученным с летательных аппаратов, являются подвижный датчик изображения, малый размер объекта, низкий контраст объекта, изменчивость формы и яркости объекта. В современных условиях в качестве исходной информации часто используются многоспектральные изображения. Рассмотрим подходы и методы, применяемые для решения задач обнаружения и сопровождения объектов.

Обнаружение или поиск объектов по изображениям в большинстве случаев сводится к решению задачи классификации. Общая схема решения задачи, как правило, включает этапы предобработки изображения с целью снижения влияния шума и улучшения качества исходного изображения, поиска зон интереса (областей изображения с подозрением на наличие объекта), вычисления признаков и классификации. Выбор инвариантных признаков во многом определяет эффективность решения задачи поиска объектов. Так как внешний вид объекта, как правило, зависит от условий съемки, включая степень освещенности, погодные условия, угол выполнения съемки, расстояние до объекта, наличие маскировки и т.д., использование яркости или текстуры объекта в качестве единственных признаков не позволяет выполнять обнаружение объекта с высокой точностью. Использование таких признаков должно быть дополнено построением динамической модели объекта, учитывающей изменения его внешнего вида. Другим подходом является использование признаков, менее зависящих от условий выполнения съемки, например, признака формы.

Необходимым условием для решения задачи поиска объектов по форме является получение проекции объекта по изображению, или его сегментации. Среди основных методов сегментации можно выделить следующие [1]:

- глобальные и локальные пороговые методы, в том числе на основе анализа гистограммы;
- методы на основе кластеризации, Mean-Shift-сегментации, метод водоразделов и метод выращивания областей;
- методы на основе обнаружения краев;
- методы на основе обнаружения объекта по модели, в том числе Active Shape Model, Active Appearance Model и другие.

В случае использования многоспектральных изображений в качестве исходной информации о сцене, могут быть применены методы сегментации, обобщенные на многомерный случай. Использование модели сцены в виде векторного локально-однородного случайного поля [2] позволило разработать несколько новых алгоритмов сегментации [3]. Была показана и экспериментально подтверждена их высокая эффективность при совместном применении изображений, полученных при съемке в различных спектральных диапазонах.

Для классификации объекта путем анализа его формы по построенной в результате сегментации объекта проекции должны быть вычислены геометрические признаки. В простейшем случае могут быть использованы такие признаки как площадь объекта, длина периметра, их отношения друг к другу и т.д. Однако представляется более эффективным описывать форму объекта комплексно. Например, в качестве признака формы может быть использовано распределение длин хорд, полученных путем пересечения объекта секущими случайным образом [4]. При использовании большого количества признаков может потребоваться снижение размерности признакового пространства путем выбора наиболее значимых признаков. Для этого могут быть использованы алгоритмы PCA, LDA, KLDA и другие.

Для решения задачи классификации существует большое число различных методов машинного обучения, включая искусственные нейронные сети, машины опорных векторов, алгоритмы бустинга и другие. В последние годы наибольшую эффективность в решении задач распознавания образов, включая задачи классификации изображений, показывают глубокие нейронные сети, в том числе сверточные нейронные сети. Их преимуществом является автоматический выбор признаков. Однако для получения высокой точности необходим большой объем выборки, как правило, насчитывающий сотни тысяч и миллионы изображений. Для некоторых прикладных областей формирование обучающей выборки такого объема может оказаться затруднительным.

Кроме формы объекта, могут эффективно использоваться и другие признаки, описывающие его внешний вид. Широко известными среди специалистов в области компьютерного зрения являются признаки, полученные с помощью дескрипторов SIFT, SURF, LBP, HOG и др. Использование признаков Хаара лежит в основе алгоритма Виолы-Джонса, первоначально разработанного для обнаружения лиц, но применяемого в настоящее время для поиска объектов в различных прикладных задачах. При использовании видео в качестве исходной информации движущиеся объекты (например, транспортные средства) могут быть обнаружены с высокой точностью путем сегментации изображений по движению.

Задача сопровождения (трекинга) объектов является хорошо изученной. Существуют различные методы для ее решения, включая методы на основе вычисления оптического потока, например, с помощью алгоритма Лукаса-Канаде, и фильтры Калмана. Однако на практике автоматическое сопровождение объекта может оказаться затруднительным. Проблемы при решении задачи во-многом совпадают с проблемами решения задачи обнаружения объекта: малый размер объекта, низкий контраст, изменчивость внешнего вида. Также добавляется проблема временного ухода сопровождаемого объекта из кадра.

Одним из наиболее эффективных современных методов автоматического сопровождения объекта является алгоритм TLD (Tracking-Learning-Detection) [5]. Его достоинством является высокая точность обнаружения в режиме реального времени, в том числе при временном уходе объекта из кадра. В то же время алгоритм часто теряет объекты малого размера и низкой контрастности. Нами были выполнены работы по улучшению алгоритма TLD. Интеграция разработанного нами алгоритма сегментации объекта с детектором TLD позволила повысить точность работы метода сопровождения объектов.

Филиал «27 ЦНИИ» Минобороны России (г. Иннополис) образован для проведения исследований в интересах выявления перспективных информационных технологий военного и двойного назначения, прогноза их развития для решения прикладных задач Вооруженных Сил Российской Федерации. В рамках этих исследований выполняется анализ компетенций и существующих разработок АНО ВО «Университет Иннополис». Университет Иннополис имеет значительный опыт решения задач компьютерного зрения и интеллектуального анализа данных. Специалистами успешно выполнен ряд проектов, включая разработку алгоритмов и программного обеспечения для поиска объектов по многоспектральным аэрокосмическим изображениям, методов и программ для обработки и

анализа медицинских изображений, системы обработки сигналов для распознавания видов человеческой активности и другие. Большинство решений в области распознавания образов может быть легко масштабируемым для решения прикладных задач в различных областях. Так, например, алгоритмы поиска патологий по рентгеновским снимкам могут быть использованы для обнаружения объектов по аэрокосмическим изображениям.

В настоящее время перспективным и весьма востребованным является разработка программно-аппаратных комплексов автоматического захвата и сопровождения объекта, способных эффективно решать данные задачи на борту БЛА в режиме реального времени. Бурное развитие технологий искусственного интеллекта, включая компьютерное зрение и машинное обучение, и накопление компетенций у ряда российских организаций позволяет ожидать существенного прогресса в решении задач обнаружения и сопровождения объектов по изображениям, получаемым на БЛА.

#### **Список использованных источников**

1. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications, 812 p., Springer-Verlag London, 2011

2. Фофанов В.Б. Формализация сцены в задаче дешифрирования многозональных изображений, Оптический журнал, 2007, Т.74, № 3, С. 51-54.

3. Kuleev R.F., Fofanov V.B. A generalization of segmentation methods of quantiles and modes to the case of several images, Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications), 2008, Т. 18, № 4, pp. 666-670.

4. Фофанов В.Б., Жизневский А.Н. Формализация задачи поиска объектов на векторной сцене, Интеллектуальные системы. Теория и приложения, 2013, Т. 17, № 1-4, С. 543-546.

5. Kalal Z., Mikolajczyk K., Matas J. Tracking-Learning-Detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 6, No. 1, 2010, pp.1-14.

Головин П.М., начальник отдела перспективных разработок Департамента навигационных и связных систем ОАО «ВНИИР-Прогресс»

### **Применение имитационной помехи ГНСС для увода БЛА в заданный район**

Современные глобальные навигационные спутниковые системы обеспечивают потребителей беспрецедентно высокими характеристиками координатно-временных и навигационных определений (КВНО) в любой точке Земли и околоземного пространства. В связи с этим использование навигационной аппаратуры (НАП) для определения местоположения является общеупотребимым при работе робототехнических комплексов, в частности, беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Однако современная НАП подвержена воздействию источников помех, которые могут нарушить работоспособность (в случае маскирующей помехи) или значительно исказить навигационные показания приемного устройства (в случае имитационной помехи), что негативно скажется на качестве выполнения БЛА поставленной задачи.

В настоящее время основным режимом применения БЛА является дистанционное управление оператором. В составе информации, передаваемой с БЛА оператору, присутствуют текущие оценки координат, так что оператор в реальном времени может наблюдать местоположение БЛА. Как правило, перед оператором стоит задача управления БЛА в соответствии с выбранным маршрутом, обеспечивающим выполнение поставленной боевой задачи. Очевидно, что в реальных условиях траектория полета будет отличаться от исходно заданной ввиду, например, наличия ветра или других погодных условий. Тем не менее, БЛА будет управляться таким образом, чтобы различие траекторий было сведено к минимуму. При смещении текущих КВНО от заданной траектории БЛА будет стремиться приложить такое усилие, чтобы на нее вернуться.

Уязвимость НАП к воздействию помех становится значительной проблемой, потому что для следования по траектории нужны непрерывные данные о текущем местоположении. Маскирующая помеха способна подавить приемное устройство и прервать выдачу КВНО БЛА, что приведет к срыву выполнения поставленной задачи.

Намного опаснее для БЛА, с точки зрения авторов, является воздействие имитационной (интеллектуальной) помехи, целью которой является не разрушение навигационного-временного поля ГНСС, а его искажение. Постановщик помехи, используя сведения о местоположении и скорости объекта воздействия, создает такой набор

имитационных сигналов, принимаемых НАП, что обработка их в приемнике БЛА приводит к неверному определению текущих координат. В случае различия «подложного» местоположения и истинной траектории, по величине сравнимого с обычным смещением от ветра, летательное средство отработает стандартный алгоритм возвращения к исходному курсу, не подозревая, что, фактически, уводит себя с заданного направления. Таким образом, воздействуя специально сформированными наборами сигналов постановщик помехи может значительно изменить местоположение БЛА незаметно для оператора, а при определенных условиях, осуществить увод БЛА в определенный район для дальнейшего физического воздействия. Общая схема работы перспективного комплекса по уводу БЛА представлена на рисунке 1.



Рисунок 1

Было проведено моделирование алгоритма увода БЛА. На рисунке 2 отображен принцип воздействия на приемник БЛА. Синей пунктирной линией нарисована исходная траектория, требуемая для

выполнения боевой задачи. Оранжевым кругом изображен заданный район увода БЛА. Зеленой линией обозначена «ложная», имитируемая траектория, формируемая постановщиком помехи и передаваемая оператору от БЛА.

Отметим, что эти траектории очень близки, что приводит к незаметности искажения навигационного поля, так как наблюдаемая на мониторе оператора траектория не вызывает никаких опасений по поводу воздействия на БЛА каких-либо помех. Небольшие систематические отклонения при определении координат БЛА приводят к итоговому смещению в необходимый для постановщика помехи район. Истинная траектория полета летательного средства изображена красной линией.





Рисунок 2

Особенностями алгоритма увода является необходимость незаметного для приемника ГНСС БЛА перехода от истинных навигационных сигналов к имитационным сигналам, формируемым постановщиком имитационной помехи. Для формирования такой помехи требуется знание текущей эфемеридной информации, а также положения и направления движения объекта воздействия (БЛА). Погрешность, с которой формируется имитационный сигнал, не должна превышать значения, которые определяются параметрами схем слежения аппаратуры ГНСС БЛА. Эти значения для координатной и скоростной информации соответственно составляют:  $\pm 10 \dots 20$  м и  $\pm 3 \dots 5$  м/с. Как видно, реализация алгоритма требует достаточно точного целеуказания от средств обнаружения и сопровождения, что в настоящее время достаточно проблематично для малоразмерных БЛА.

Блок схема алгоритма формирования имитационной помехи представлена на рисунке 3. На начальном этапе предлагается осуществлять прием истинных сигналов со спутников для получения текущих эфемерид, а также обеспечения синхронизации аппаратуры постановки помех. Наличие информации о взаимном положении БЛА и

навигационных спутников позволяет сформировать совокупность навигационных сигналов, соответствующих его местоположению. Сформированный таким образом сигнал через высокочастотный радиотракт излучается в направлении БЛА. Обеспечение перехода приемника БЛА на слежение по имитационным сигналам осуществляется подбором их мощности со значением немного превышающим истинные сигналы.



Рисунок 3 – Блок схема алгоритма формирования имитационной помехи

Разработана программно-математическая модель, позволяющая реализовать незаметный для оператора увод БЛА в заданный район, основанная на формировании имитационной помехи специального вида. В модели предполагается знание положения БЛА с достаточно высокой точностью. Практическая реализация разработанной модели возможна в изделиях типа «Блесна» производства ОАО «ВНИИР-Прогресс» при наличии высокоточной информации о текущем местоположении объекта воздействия.

Гомзин А.В., к.т.н., генеральный директор – главный конструктор АО НПО «ОКБ им. М.П. Симонова»;

Гимадеев Р.Г., доцент, начальник отдела системных исследований АО НПО «ОКБ им. М.П. Симонова»

### **Предложения ОКБ Симонова по формированию облика разведывательно-ударной системы на основе научно-технического задела разработки комплексов с беспилотными летательными аппаратами**

Бурное развитие беспилотной авиации, полученный научно-технический задел при разработке комплексов с БЛА, складывающаяся военно-политическая обстановка требуют скорейшей выработки методологии их применения. ОКБ Симонова предлагает создание автоматизированной разведывательно-ударной системы, состоящей из комплексов с БЛА, системы связи и управления, которая должна интегрироваться в единую систему разведки и поражения.

Автоматизированная разведывательно-ударная система на базе комплексов с БЛА, на наш взгляд, позволит решать следующие задачи:

1. Контроль сухопутных и морских районов, воздушной обстановки в мирное время и угрожаемый период.
2. Вскрытие противостоящей группировки для планирования применения войск и сил.
3. Круглосуточный и всепогодный контроль за обстановкой, своевременное оповещение о возникающих угрозах.
4. Оперативный контроль результатов огневого поражения.
5. Обнаружение, распознавание и поражение критичных по времени и важности объектов.
6. Осуществление радиоэлектронного противодействия.
7. Дальнее радиолокационное обнаружение средств воздушного нападения.

Предлагаемый состав системы:

1. Комплекс с БЛА большой продолжительности полета в следующих модификациях:

- разведывательный;
- разведывательно-ударный;
- носитель БЛА различных типов;
- дальнего радиолокационного обнаружения.

2. Комплекс со скоростными БЛА  
многофункциональный скоростной БЛА

БЛА–имитатор оперативно-тактической авиации со сниженными стоимостными характеристиками

скоростной ударный БЛА

### 3. Система управления комплексами с БЛА

Вариант схемы применения автоматизированной разведывательно-ударной системы на сухопутном ТВД приведен на рисунке 1.

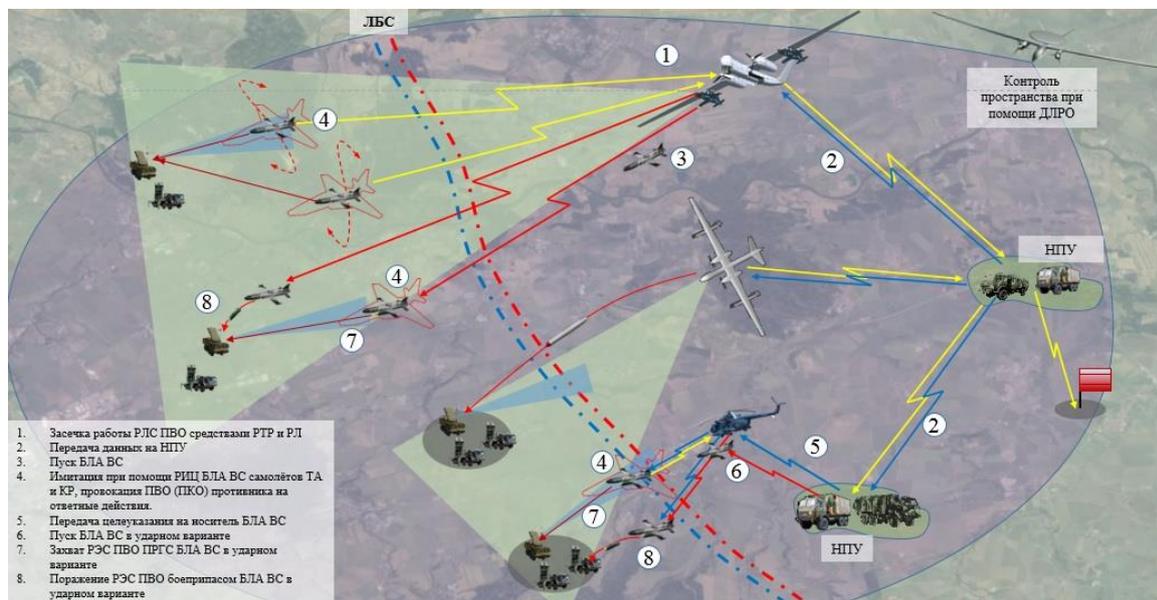


Рисунок 1 – Вариант схемы применения АРУС на сухопутном ТВД

В данном варианте представлены эпизоды по провоцированию к включению радиоэлектронных средств системы ПВО, их последующей засечке и поражению различными элементами системы в масштабе времени, близком к реальному, радиоэлектронному противодействию и контролю воздушного пространства.

Вариант схемы применения системы на морском ТВД приведен на рисунке 2.

В данном варианте представлены эпизоды работы системы по обнаружению и поражению как групповых, так и одиночных надводных целей. При этом задача выполняется в режиме времени, близком к реальному, без вхождения зону поражения системы ПВО.

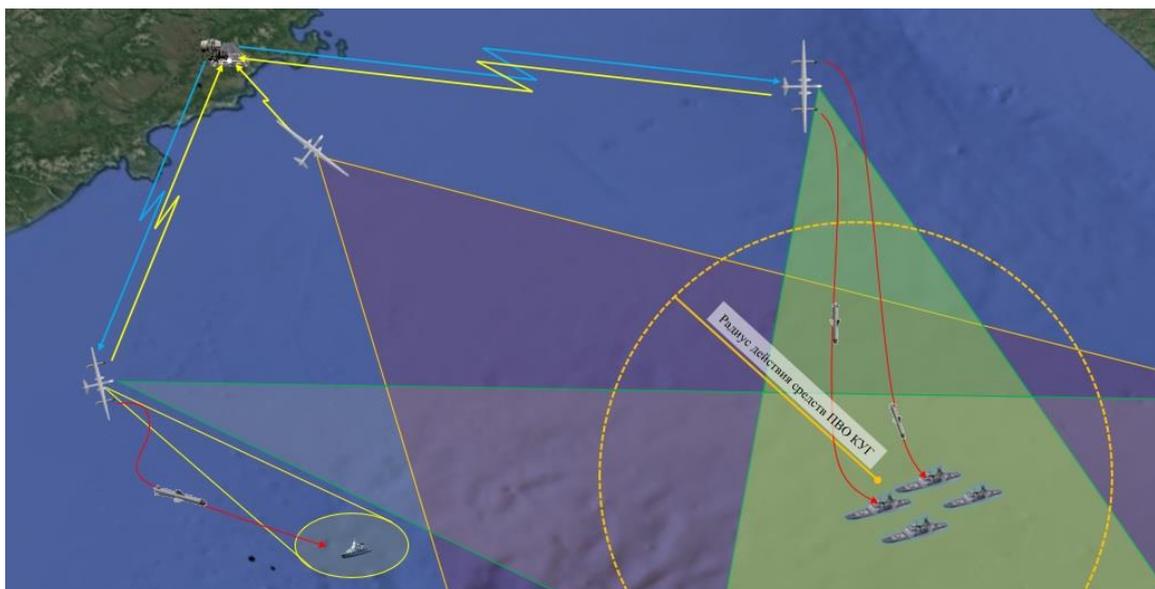


Рисунок 2 – Вариант схемы применения системы на морском ТВД

Таким образом, создание автоматизированной разведывательно-ударной системы на базе комплексов с БЛА позволит автоматизировать и комплексировать систему воздушной разведки, осуществлять автоматический поиск, обнаружение, распознавание, определение параметров и поражение объектов, являющихся критичными по времени и важности, под контролем органов управления различного уровня. Это позволит значительно снизить время реакции системы управления от момента постановки задач до поражения целей, дать командирам различных уровней мощный инструмент в виде «всевидящего ока» и «дальней руки».

Структура и технические решения АРУС КБЛА должны позволять интегрировать в её состав новые комплексы с БЛА различных уровней управления, средств поражения и радиоэлектронного противодействия.

Предлагается рассмотреть также аспекты применения системы в интересах межвидовых группировок войск.

На наш взгляд, для реализации этого проекта необходимо:

- провести исследования по созданию автоматизированной разведывательно-ударной системы на базе комплексов с БЛА, определению ее роли и места в общей системе вооружения;
- провести исследования по выработке обоснованных критериев для автоматизации процесса целераспределения;
- на начальном этапе создания системы предусмотреть ее интеграцию в систему управления пилотируемой авиации;

□ задать НИОКР по созданию (модернизации) комплексов с БЛА различного функционального назначения для включения в состав данной системы;

□ повысить интенсивность проведения всех видов испытаний комплексов с БЛА для скорейшего принятия их на вооружение;

□ уточнить организационно-штатную принадлежность комплексов с БЛА.

Дьяконов Д.А., Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)

## **Понятие и определение интегральных лётно-технических характеристик дистанционно пилотируемого вертолётного малого класса**

*Целью данной работы является введение понятия и определение интегральных лётно-технических характеристик дистанционно пилотируемого вертолётного малого класса для получения реальных эксплуатационных значений при выполнении полётного задания.*

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) вертолётного типа, или, как правильно, – дистанционно пилотируемые вертолёты (ДПВ), относятся к специальному классу БЛА. Они создаются и используются для выполнения различных задач благодаря их главным преимуществам по сравнению с БЛА традиционных схем. Это – возможность вертикально взлетать и садиться на труднодоступные и ограниченные по размерам площадки, а также зависать над интересующим объектом, представляя, таким образом, идеальную платформу для идентификации и исследования объекта.

Основными эксплуатационными требованиями к комплексам малой дальности являются компактность, мобильность, возможность функционирования в полевых условиях в течение длительного времени, ограниченный состав экипажа, ограниченная стоимость материальной части.

В основном в состав комплексов входят ДПВ зарубежного производства или их копии. Ряд отечественных предприятий пытается наладить производство ДПВ собственной разработки, но пока значимых результатов нет. Это вызвано, в первую очередь, отсутствием необходимого инструментария для решения проектных задач, в полной мере удовлетворяющих требованиям эксплуатантов и самой философии применения комплекса. Поясняя последнее можно выделить четыре главные особенности формирования облика ДПВ:

– ДПВ является составной частью комплекса, в котором выходным параметром является оперативность, достоверность, достаточность и непрерывность поступления информации;

– автоматический полёт ДПВ на заданном режиме есть движение материальной точки на электронной карте местности, при отсутствии у оператора параметров внешнего воздействия атмосферных явлений на ДПВ на удалении от места старта более 10 км;

– при ручном управлении у оператора отсутствует обратная связь по управлению и по внешнему воздействию атмосферных явлений на ДПВ.

– при планировании полётного задания эксплуатант должен использовать значения интегральных лётных характеристик ДПВ.

Если первые три понятия не вызывают вопросов, то последнее требует детального пояснения.

Авторы предлагают следующее определение термину «интегральные лётные характеристики»: интегральные лётные характеристики – это совокупность лётно-технических характеристик, соответствующих внешним условиям эксплуатации и обеспечивающих в полной мере выполнение запланированного полетного задания.

В качестве примера рассмотрим лётно-технические характеристики беспилотного вертолёта (AF25b AIRFRAME разработка Copterworks inc, США) китайского производства [3;4] (применяется многими предприятиями в составе своих комплексов как готовое изделие) и лётно-технические характеристики, приведённые поставщиком, таблица 1.

Таблица 1 – Лётно-технические характеристики вертолёта AF25b производства КНР.

Параметр	Значение	
	поставщик 1	поставщик 2
Масса конструкции без учёта массы топлива и капота, кг	16.35	16,12
Взлётная масса вертолёта, кг	35	32,23
Масса полезной нагрузки, кг	12	11
Объём топливных баков, л	5, [2.5x2]	
Время полёта, мин.	60	50...55
Расход топлива при 90% нагрузки, л/час	4	
Двигатель: 80 см <sup>3</sup> ; 5,82 л.с.(Н=0м)	ZENOAH G800BPU, [5]	
Максимальная скорость горизонтального полета, км/ч	90	
Крейсерская скорость горизонтального полета, км/ч	65	
Максимальная барометрическая высота полёта, м	2500	3700
Вертикальная скороподъёмность при массе полезной нагрузки 4 кг, м/с	4	
Величина полезной нагрузки, (%) / барометрическая высота полёта, м	100/0	
	95/500	
	80/1000	
	70/1500	
	60/2000	
Эксплуатационный диапазон температур, °С	- 20...+50	

Рассмотрим в качестве примера следующее. Эксплуатанту необходима вертолётная платформа для выполнения ряда работ под массу полезной нагрузки 10 кг и временем полёта порядка одного часа. Отметим, что в величину массы полезной нагрузки до 10 кг входит широкая номенклатура оборудования – это оптические системы высокого разрешения на многоосевой гиостабилизированной платформе, лазерные сканеры, информационные системы и многое другое. Естественно, выбор потребителя останавливается на первом варианте. И действительно, приведённые производителем-поставщиком характеристики вертолёта полностью удовлетворяют требованиям эксплуатанта. Но так ли это на самом деле?

Заметим, что обобщённо взлётная масса ДПВ  $m_{\text{взл}}$  складывается из интегральной массы конструкции вертолота  $m_{\text{констр}}$ , массы полезной нагрузки учётом узлов подвески  $m_{\text{пн}}$ , перевозимой вертолотом и массы топлива  $m_{\text{т}}$ .

$$m_{\text{взл}} = m_{\text{констр}} + m_{\text{пн}} + m_{\text{т}} \quad (1)$$

А параметр «летучести» ДПВ напрямую связан с величиной отношения взлётной массы вертолота к мощности двигателя (для беспилотных вертолотов - 3,2 кг/л.с.; для пилотируемых вертолотов - 5 кг/л.с) и величиной нагрузки на ометаемую площадь несущего винта (9...12 кг/м<sup>2</sup>), [1;2].

В паспортных данных двигателя обычно указывается мощность в стандартных атмосферных условиях на высоте уровня моря. С высотой полёта значение мощности поршневого двигателя будет падать. Для определения этой зависимости используется высотная характеристика двигателя  $A = \frac{N_H}{N_{H=0}}$ , где  $N_H$  – мощность двигателя на расчетной высоте,  $N_{H=0}$  – мощность двигателя на высоте равной нулю.

При отсутствии характеристик конкретного двигателя для выполнения расчетов в качестве высотной характеристики можно использовать обобщенную зависимость, полученную по результатам обработки статистических данных. Для поршневого двигателя она имеет вид:

$$A = 1,11\Delta \sqrt{\frac{T_0}{T_H}} - 0,11. \quad (2)$$

Здесь  $T_0$  – температура воздуха на высоте  $H=0$ ,  $T_H$  – температура воздуха на расчетной высоте  $H$ .

Отношение  $\frac{T_H}{T_0}$  подчиняется зависимости:

$$\frac{T_H}{T_0} = 1 - 0,0065333 \frac{H}{272,2 + T_0}. \quad (3)$$

Используя эти формулы можно определить потребную взлетную мощность двигателя, предварительно вычислив потребные затраты мощности силовой установки на высоте статического потолка вертолета:

$$N_{взл} = \frac{(N_{cy})_{cm}}{A} \quad (4)$$

Дополним наш поверочный аппарат обобщенными данными Росгидромета об аэросиноптической обстановке на географических направлениях (...ГН) России.

Таблица 2 – Характеристики аэросиноптической обстановки на основных географических направлениях (ГН).

ГН	Среднегодовая скорость ветра, м/с	Максимальный порыв ветра, м/с	Максимальная температура воздуха, t°С	Минимальная температура воздуха, t°С	Среднегодовое число дней с грозой
СЗГН	3,24	30	32,5	- 51	10
ЗГН	3,1	22	34,3	- 28	17
ЮЗГН	3,5	26	37,2	- 26	31
ЦАГН	3,4	22	38,3	- 47	18
СибГН	2,6	20	38	- 47	28
ДВГН	3,45	30	33,4	- 48	16

Вооружившись приведёнными выше зависимостями и выполнив простые арифметические действия, мы получим окончательный результат в виде фактической возможности выполнять полёт вертолетом AF25b с заданной полезной нагрузкой.

Оказывается, что в соответствии с мощностным коэффициентом летучести 5кг/л.с. в случае применения двигателя мощностью 8 л.с. для варианта пилотируемого вертолётa его взлётная масса на уровне моря должна быть не более 30 кг; а для мощностного коэффициента летучести 3,2 кг/л.с., соответствующего варианту беспилотного вертолета – его взлётная масса должна быть не более 18 кг. Бесспорно, с такими параметрами вертолёт взлетит, и, даже, будет совершать горизонтальный полёт, но только в очень комфортных условиях полёта (высота над уровнем моря, влажность, ветер, качество топлива, динамика полёта и т.д). Также можно вычислить и остальные взаимосвязанные параметры: продолжительность полёта, массу полезной нагрузки, нагрузку на ометаемую площадь винта и внешнее воздействие.

При этом поставщик (разработчик – изготовитель) нас не обманывает, он только не указывает условий получения отдельных лётных характеристик. Можно вместо полезной нагрузки залить топливо и показать на режиме висения в зоне воздушной подушки

максимальную продолжительность полёта. И это будет соответствовать действительности. Или вместо топлива загрузить вертолёт до величины, чтобы он смог только оторваться от земной поверхности в условиях максимального атмосферного давления и оптимальной для двигателя температуры, а топливом заправить на минуту полёта. И это тоже правильное значение – максимальная масса полезной нагрузки. Но эти параметры не могут выполняться одновременно.

Собственно, термин «интегральные лётные характеристики» даёт ответ эксплуатанту на основной вопрос: вертолёт совершает полёт в течение указанного времени в сложных (или заданных) метеоусловиях в данном диапазоне высот и температур с указанной массой полезной нагрузкой на данном диапазоне скоростей  $0 \dots X$  км/ч. Проще – указаны значения лётно-технических характеристик, которые выполняются одновременно. Можно возразить, что приведённое условие избыточно, вооружив эксплуатанта пакетом штурманских карт и расчётных таблиц. Каждый решает сам, но, несомненно, на рынке беспилотной авиации победит именно тот производитель, который предложит простой и удобный в эксплуатации инструмент.

Далее будет показано, как определяются значения интегральных лётных характеристик.

На рисунке 1 представлены реальные графики лётно-технических характеристик вертолета взлётной массой до 150 кг серии «Ворон» [8,9], рисунок 1а – график располагаемой и потребной мощности двигателя по высоте для всех режимов полёта; рисунок 1б – график располагаемой и потребной мощности двигателя по высоте для всех режимов полёта в зависимости от температуры окружающей среды; рисунок 1в – график аэродинамического паспорта вертолёта.

По графику аэродинамического паспорта можем смело в таблицу лётно-технических характеристик записать следующие значения:

Высотность применения 5500 метров, максимальная скорость полёта 160 км/час, скороподъёмность больше 20м/с, диапазон температуры применения  $+50 \dots -40^{\circ}\text{C}$ . Но эти значения, соответствуя действительности, никогда не будут выполняются совместно.

Поясним: штангист поднимает штангу в 150 кг. Стометровку он же пробегает со скоростью 10 м/с. А по утрам бегаёт до усталости 6 часов подряд. Все данные штангиста верны. А теперь пусть он возьмёт штангу в 150 кг, и со скоростью 10м/с будет бегать в течение 6 часов...

Так и с представленными значениями. На графике аэродинамического паспорта проведена граница 1-3-9 – это граница высотности применения от выполнения вертикального взлёта, полёта с горизонтальной скоростью в штиль, до выполнения вертикальной посадки на высоте статического потолка. А линия 4-5-9 – высотность применения для полётов на высоте до 800 метров над поверхностью

земли. При ветре 15 м/с граница будет проходить по линии 1-2-8 и 4-4\*-8 соответственно. При этом в таблице интегральных лётных характеристик будет значение максимальной скорости при ветровой нагрузке 15 м/с – 70 км/час. Это означает, что при скорости ветра до 15 м/с включительно вертолёт гарантированно выполнит полёт в диапазоне барометрической высоты 0...2800 метров на высоте от поверхности земли до 800 метров. И нам не надо проводить штурманский расчёт, применять таблицы весовой сводки и другие расчётные графики.

И эти значения соответствуют заявленной продолжительности полёта 4 часа и массе полезной нагрузки 35 кг.

Выполнение ещё одного пункта – внешняя температура +50°C, и высотность применения вертолёта снижается до 1500 метров – граница 6-6\*-8.

В итоге эксплуатант получает следующие значения: в диапазоне температур +50...-40°C, и скорости ветра до 15 м/с, массе полезной нагрузки 35 кг вертолёт гарантированно выполнит полётное задание в течении 4-х часов на высоте взлётной площадки 1300 метров при высоте полёта над поверхностью земли до 200 метров при любом профиле полёта. Скромные, на первый взгляд, характеристики.

Для проверки можно взять аэродинамические паспорта других вертолётных аналогичного класса, по изложенной методике определить интегральные лётные характеристики и посмотреть, какое полётное задание выполняют эти вертолёты при заявленных технических параметрах в указанных границах внешнего воздействия. Скорее всего, подавляющее большинство даже не взлетит.

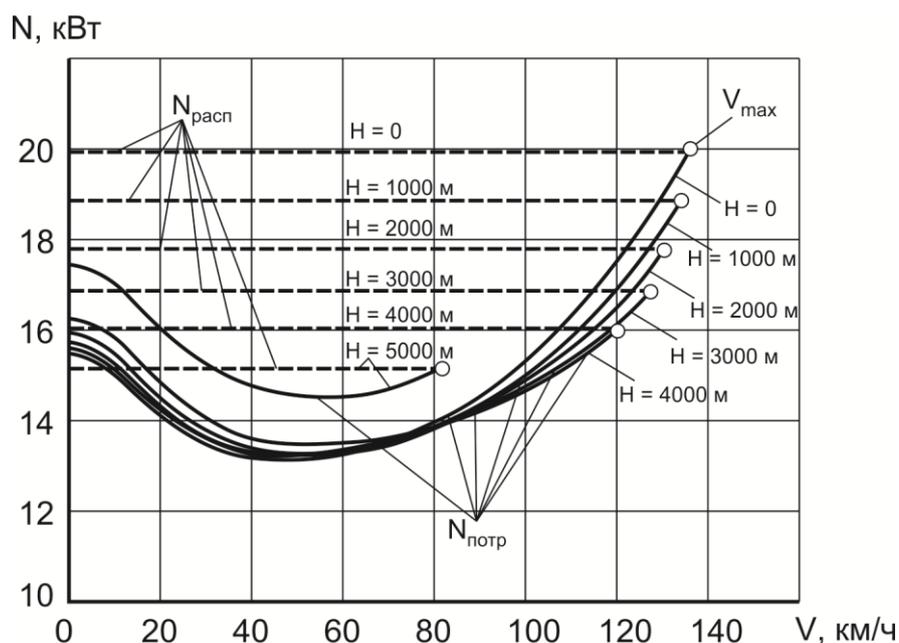


Рисунок 1а – График располагаемой и потребляемой мощности двигателя по высоте для всех режимов полёта

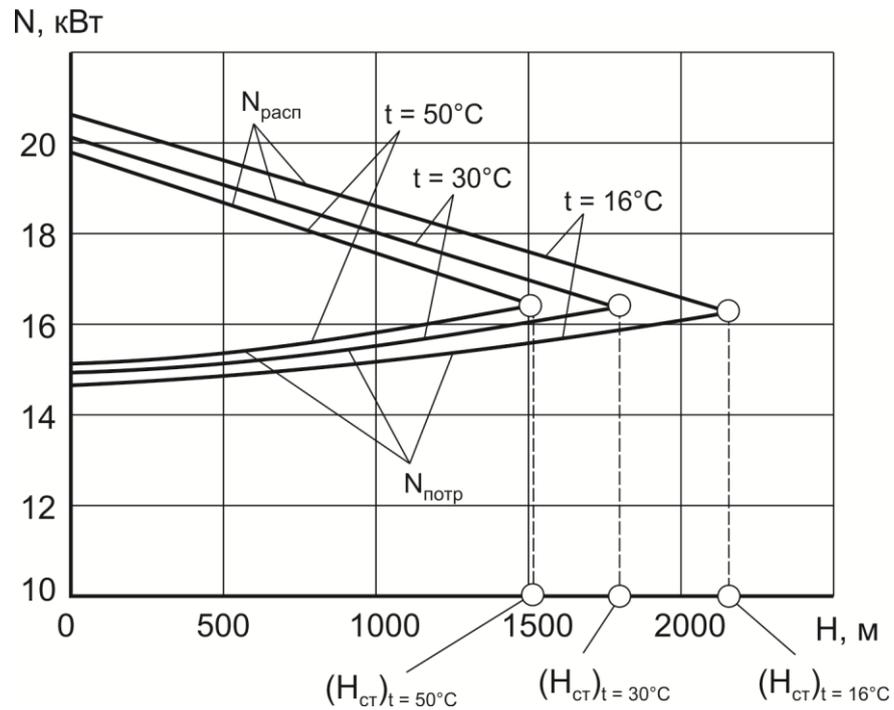


Рисунок 1б – График располагаемой и потребляемой мощности двигателя в зависимости от температуры окружающей среды

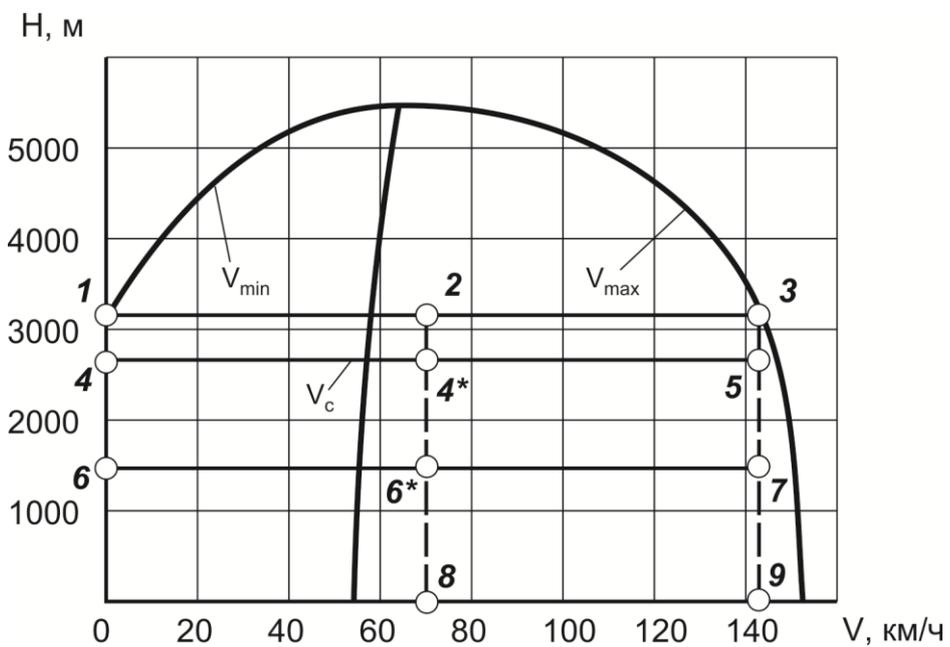


Рисунок 1в – График аэродинамического паспорта вертолёта.

Следует отметить, что абсолютное большинство производителей пилотируемой вертолётной техники предоставляют графический

материал, позволяющий потенциальным эксплуатантам ещё на стадии принятия решения о приобретении получить реальные значения лётных характеристик в заданных условиях эксплуатации.

Развитие рынка беспилотных систем и обеспечение безопасности эксплуатации в общем воздушном пространстве, по мнению авторов, требует от разработчиков БЛА предоставлять эксплуатанту именно интегральные лётные характеристики.

Список литературы:

1. Юрьев Б. Н. Аэродинамический расчёт вертолётов. – М.: Оборонгиз, 1956, 559 с.
2. Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Радин А.С. Вертолеты. Выбор параметров при проектировании. — М.: Машиностроение, 1976.
3. <https://copterworks.com/products/af25b-airframe/>, (сайт компании «Copterworks», разработчик вертолёта AF-25).
4. <http://www.zenoah.co.jp/int/products/hobby-engines/> (сайт компании «Zenoah»).
5. <https://russian.alibaba.com/product-detail/professional-drones-long-range-drones-fixed-wing-uav-robinson-helicopter-60534671169.html> (сайт компании «Guangzhou Golden Trading Co., Ltd» – поставщика лицензионного вертолёта AF-25).

Елагин Ю.Н., начальник отдела радиоэлектронного и авиационного оборудования, ЗАО «ЭНИКС» г. Казань

## **Гиростабилизированные приборы и оптико-электронные системы**

На сегодняшний день гиростабилизированные оптико-электронные приборы и системы наблюдения активно применяются в малоразмерных беспилотных летательных аппаратах: самолетах, вертолетах, аэростатах и т.п. Основными сферами применения данных приборов и систем наблюдения являются:

- мониторинг наземной обстановки, охраны территорий и объектов с воздуха;
- патрулирование границ, береговая охрана и контроль территориальных вод;
- обеспечение поисково-спасательных операций;
- контроль состояния автомобильных и железнодорожных магистралей;
- контроль состояния нефтегазопроводов и линий электропередач;
- экологический контроль территорий, акваторий и воздушного бассейна;
- картографирование и аэрофотосъемка;
- рыбопромысловая разведка и контроль лова рыбы;
- воздушная разведка и радиоэлектронная борьба;
- контроль ледовой обстановки;
- контроль состояния инженерных сооружений при ледоходе.
- мониторинг населенных пунктов, отрезанных паводком;
- мониторинг наземной обстановки при лесных пожарах;

Одной из новейших разработок ЗАО «ЭНИКС» является модуль дистанционного наблюдения «М002», представляющий миниатюрную трехосную гиростабилизированную платформу с размещением тепловизионного и цветного телевизионного каналов. Диаметр шара данного модуля составляет 120 мм, масса -1300 г.

В гиростабилизированной платформе установлен надежный миниатюрный неохлаждаемый тепловизор с бесшторочной технологией, выдерживающий кратковременные удары до 500 г. Количество эффективных пикселей матрицы тепловизора составляет 640(H)\*480(V). Оптимальный на сегодняшний день вариант по соотношению цена/количество пикселей. При этом предел обнаружения человеческой активности составляет до 1150 м.

Механическая стабилизация изображения обеспечивается системой приводов и гироскопов с среднеквадратической точностью

стабилизации не менее 50 мкрад. Приводы были спроектированы и изготавливаются в ЗАО «ЭНИКС».

Количественно качество механической стабилизации изображения оценивалось путем размещения внутри гиросtabilизированной платформы дополнительного лазерного излучателя, длина волны излучения которого находится в видимом диапазоне спектра. Луч лазерного излучателя при этом совмещался с оптической осью ТВ камеры. При воздействии на беспилотный летательный аппарат, в составе которого модуль проходил испытания, реальных возмущений (при проведении летных испытаний) было получено значение максимального углового отклонения оси визирования модуля как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, и составило порядка 130 мкрад.

Модуль дистанционного наблюдения «М002» может устанавливаться как на беспилотные, так и на пилотируемые летательные аппараты.

Модуль дистанционного наблюдения «М002» хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации, имея высокую надежность и неприхотливость в техническом обслуживании.

Основным преимуществом перед аналогичными устройствами других производителей является система гиросtabilизации, основанная на трехосевой платформе активной стабилизации, снабженной собственными датчиками положения, вычислительным устройством и моментными двигателями.



Рисунок 1 – Модуль дистанционного наблюдения «М002» (трехмерная модель)



Рисунок 2 – Модуль дистанционного наблюдения «M002»  
(фотография)

Жмуров Б.В., к.т.н., доцент, главный конструктор – заместитель генерального директора ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», г. Москва

## **Интеллектуальная энергосистема беспилотных летательных аппаратов**

В связи с глубокой электрификацией современных летательных аппаратов, и в большей степени беспилотных летательных аппаратов, к системам электроснабжения выдвигаются дополнительные требования, связанные с необходимостью оптимизации потоков энергии в ЛА, которую невозможно выполнить, используя существующие методики проектирования систем электроснабжения. Эту проблему успешно решается специалистами ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» на основе разработанной информационно-энергетической методики проектирования энергокомплекса летательного аппарата.

Основной задачей проектирования энергокомплекса ЛА является определение множества реальных и (или) виртуальных (прототипов) источников, преобразователей и накопителей электрической энергии (ЭЭ), а также их структуры с целью обеспечения всех потребителей электроэнергией заданного качества на всех режимах полёта и во всех режимах работы энергосистемы. При этом необходимо минимизировать полётную массу энергосистемы при выполнении ряда ограничений (технологических, экономических, эксплуатационных и др).

ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» разрабатывает интеллектуальные системы электроснабжения и агрегаты, входящие в их состав, которые позволяют осуществлять управление энергией на борту летательного аппарата. Применение такого рода энергокомплекса является новым подходом в разработке систем электроснабжения, который позволяет разработать экономически выгодный и конкурентоспособный самолет.

Предлагаемая технология дает возможность разрабатывать летательные аппараты с оптимальными массогабаритными и энергетическими характеристиками.

Интеллектуальные системы управления электроэнергетическими системами обобщают современное понятие «умная сеть» (smart grids) и предполагают управление потреблением ЭЭ на борту воздушного судна в зависимости от режима и задач полета. Такое управление, в общем случае, позволит в режиме реального времени подстраивать энергопотребление под динамику генерирования и, в тоже время, обеспечивать покрытие пиков потребления за счет накопленной энергии. Это позволит оптимизировать режимы работы системы

электроснабжения, повысить эксплуатационный ресурс и снизить суммарную полетную массу энергосистемы.

Для реализации вышеуказанной концепции в ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» разработаны уникальные интеллектуальные защитно-коммутационные устройства различного номинала.

**Цифровой управляющий модуль (ЦУМ)** (рисунок 1) предназначен для управления агрегатами и устройствами системы электроснабжения, обмена информацией с системой управления общесамолетным оборудованием, обработки принятой информации, формирования команд управления исполнительными устройствами системы электроснабжения.



Рисунок 1 – Цифровой управляющий модуль.

***Назначение ЦУМ:***

- управление, контроль и диагностика устройств и агрегатов системы электроснабжения;
- формирование команд управления исполнительными устройствами системы распределения электроэнергии по алгоритмам различных режимов;
- формирование актуальных данных для вычислительных устройств других систем и экипажа (оператора).

***ЦУМ обеспечивает:***

- организацию высокоскоростной специализированной локальной вычислительной сети по управлению различными системами электроснабжения;
- реализацию технологии smart grid («умная сеть») в бортовых системах распределения электроэнергии;
- интеллектуальное управление распределенными системами генерации;
- адаптивное управление режимами реконфигурации сети;
- повышенную живучесть бортовой электрической сети;

- согласование режимов работы бортового оборудования и системы электроснабжения;
- контроль технического состояния всех элементов системы с оценкой предотказного состояния и регламентом обслуживания.

**Технические характеристики ЦУМ:**

- количество подключаемых устройств и агрегатов системы электроснабжения до 128
- количество информационных сетей 2 (основная, резервная)
- количество аналоговых измерительных входов 16
- скорость информационного обмена 128 000 бит/с
- номинальное напряжение питания 27 В
- масса, не более 2,5 кг

**Управляемое коммутационное устройство (УКУ) (рисунок 2)** предназначено для коммутации, контроля и диагностирования силовых цепей системы электроснабжения постоянного и переменного тока.

**Назначение УКУ:**

- коммутация силовых цепей системы распределения (СР) ЭЭ;
- защита силовых цепей от токовых перегрузок и КЗ;
- контроль и диагностика силовых цепей СР ЭЭ;
- информационный обмен с цифровым управляющим модулем.



Рисунок 2 – Управляемое коммутационное устройство.

**Область применения УКУ:**

- системы автономных комплексов электроснабжения авиационных (пилотируемых и беспилотных) ЛА;
- системы автономных комплексов электроснабжения сухопутных транспортных средств (бронетехника, спецавтотранспорт);
- системы автономных комплексов электроснабжения робототехнических систем;

- системы автономных комплексов электроснабжения систем управления вооружением;
- системы автономных комплексов электроснабжения модульных энергоузлов для работы в сложных условиях.
- УКУ обеспечивает:
  - создание новых интеллектуальных систем электроэнергетики (smart grid);
  - контроль состояния сети в каждой узловой точке;
  - оценка параметров качества электроэнергии в каждой точке сети;
  - создание многоуровневой защиты всей сети;
  - высокую селективность защиты каждого участка;
  - выполнение в автоматическом режиме «прозвонки» всей кабельной сети.

**Основные преимущества УКУ:**

- обеспечивается возможность реализации контроля и защиты децентрализованной и интеллектуальной системы электроснабжения;
- появляется возможность проектировать сложные системы электроснабжения с адаптивным управлением на базе модулей УКУ;
- расширяются возможности диагностирования работоспособности силовых цепей системы электроснабжения;
- улучшаются эксплуатационные характеристики;
- расширяется мобильность в настройке параметров уставки защиты электроцепей;
- снижается стоимость жизненного цикла.

**Технические характеристики УКУ:**

- номинальный коммутируемый ток 100 А, 200 А,  
400 А, 600 А
- номинальное коммутируемое напряжение:
  - постоянного тока 27 В, 270 В
  - переменного трехфазного тока 115/200 В,  
400 Гц
- номинальное напряжение питания 27 В
- настраиваемая уставка защиты токовая  
перегрузка, короткое  
замыкание
- интерфейс информационного обмена RS485
- масса, не более 1,5 кг

**Локальный центр управления нагрузками (ЛЦУН) (рисунок 3)** предназначен для управления коммутацией каналов питания

потребителей постоянного тока в системе распределения электроэнергии и защиты фидеров питания потребителей.

***Функциональные возможности ЛЦУН:***

- управляемая коммутация каналов распределения электроэнергии;
- автоматический контроль тока, напряжения и температуры;
- встроенная защита электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий;
- программируемое ограничение тока каждого канала на 20А, 10А и 5А с шагом уставки 10% от номинального значения;
- организация параллельной работы выходных каналов;
- управление коммутацией и контроль состояния осуществляется по интерфейсу RS-485 (опционально ARINC 825, CAN);
- подключение на одну шину управления верхнего уровня до 256 аналогичных устройств;
- получение информации об электрических параметрах работы, настройка уставок защиты и правил включения нагрузок через единую шину управления;
- обновление специального программного обеспечения осуществляется через шину управления;
- работа в сложных эксплуатационных условиях (в соответствии с требованиями «Мороз 6»).



Рисунок 3 – Локальный центр управления нагрузками.

***Область применения ЛЦУН:***

- системы распределения автономных комплексов электроснабжения авиационных (пилотируемых и беспилотных) ЛА;
- системы распределения автономных комплексов электроснабжения сухопутных транспортных средств (бронетехника, спецавтотранспорт);

- системы распределения автономных комплексов электроснабжения робототехнических систем;
- системы распределения автономных комплексов электроснабжения систем управления вооружением;
- системы распределения автономных комплексов электроснабжения модульных энергоузлов для работы в сложных условиях.

***Основные преимущества ЛЦУН:***

- обеспечивается возможность реализации децентрализованной и интеллектуальной системы распределения электроэнергии;
- появляется возможность проектировать сложные системы распределения электроэнергии с адаптивным управлением на базе модулей ЛЦУН;
- расширяются возможности диагностирования работоспособности системы распределения электроэнергии;
- улучшаются эксплуатационные характеристики;
- снижается стоимость жизненного цикла.

***Технические характеристики ЛЦУН:***

- количество независимых до 24 коммутируемых каналов
- номинальный ток коммутируемых каналов 5 А, 10 А, 20 А (с возможностью объединения каналов)
- номинальное коммутируемое напряжение постоянного тока 27 В
- максимальная коммутируемая мощность 3,4 кВт
- настраиваемая уставка защиты для каждого канала токовая перегрузка, короткое замыкание
- интерфейс информационного обмена по протоколу RS485
- масса, не более 4 кг

**Интеллектуальное распределительное устройство (ИРУ)** (рисунок 4) является первым в России цифровым специализированным бортовым устройством распределения электроэнергии и предназначено для применения в системах электроснабжения летательных аппаратов.

***Назначение ИРУ:***

- управление в автоматическом режиме распределением электроэнергии на борту летательного аппарата;
- контроль и диагностика технического состояния основных

элементов системы электроснабжения;

– информационная связь с системой верхнего уровня управления летательным аппаратом.



Рисунок 4 – Интеллектуальное распределительное устройство.

***Основные функции ИРУ:***

– автоматическое подключение источников и потребителей электроэнергии к шинам питания;

– автоматическое подключение сопряжённого ИРУ при многоканальной топологии системы электроснабжения;

– реконфигурацию шин питания при отказе одного из каналов основной системы генерирования либо сопряжённого ИРУ;

– управление контакторами системы распределения электроэнергии, как от бортовой системы управления, так и в автоматическом режиме;

– ограничение токов потребления приемниками электроэнергии;

– информационный обмен с системой управления общесамолетным оборудованием.

Высокий уровень интеграции всего бортового оборудования, повышенная степень ответственности, новейшие типы силовых установок и планеров обуславливают качественно новые требования к электроэнергетике воздушного судна и, как следствие, определяют необходимость комплексной проработки вопросов авиационной электроэнергетики, разработки концепции ее развития и создание научно-технического и промышленного задела в этой области.

Все это даст возможность обеспечить кардинальное улучшение функциональных, технических и эксплуатационных характеристик электроэнергетических систем перспективных летательных аппаратов.

Замыслов М.А., к.т.н., старший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Проценко В.В., младший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Тарасов С.В., младший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Штанькова Н.В., младший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Мальцев М.А., студент МИКТ (г. Воронеж)

### **Математическая модель для формализации сигналов управления рулями беспилотного летательного аппарата**

Управление полетом беспилотного летательного аппарата (БЛА) может выполняться как в ручном режиме по командам оператора, так и в автономном режиме по командам бортового автопилота [1-2]. В обоих случаях для изменения параметров траектории полета БЛА применяются рулевые приводы (РП), осуществляющие перемещения рулей в соответствии с командами управления. Часто на различных этапах жизненного цикла БЛА возникает необходимость в формализованном (математическом) описании управляющих сигналов с выходов рулевых приводов БЛА, а также в изучении влияния отклонений рулей в соответствии с этими управляющими сигналами на пространственное положение БЛА. Такие задачи могут решаться, например, при разработке и отладке алгоритмов выполнения определенных пространственных маневров БЛА и их математическом моделировании, а также при восстановлении пространственной траектории полета БЛА по данным бортового регистратора, сохранившего последовательность команд с выходов РП, в интересах объективного контроля выполнения БЛА полетного задания или при их авариях (катастрофах). Поэтому разработка математических моделей, позволяющих связывать управляющие сигналы (команды) с выходов РП с соответствующими перемещениями рулей БЛА и моделировать при этом процесс выполнения БЛА пространственного маневра любой сложности, является актуальной задачей.

Решать задачу разработки формализованного описания команд управления рулями будем при следующих допущениях [3]:

команды управления представляются в виде двух составляющих - требуемых абсолютного значения и направления (знака) перемещения штока РП;

считается, что угол отклонения руля БЛА пропорционален линейному перемещению штока РП, а направление отклонения определяется знаком отклонения РП от балансировочного положения;

динамические свойства оператора (устройства формирования команд) и РП не учитываются;

рассматриваются перемещения РП для управления осесимметричным стабилизированным по крену БЛА в продольной и боковой плоскостях движения.

При указанных допущениях управление рулями БЛА применительно к одной, например, продольной плоскости движения может быть представлено в виде следующих математических выражений:

$$\begin{aligned}\delta_{pn} &= \delta_{u} \cdot \Delta h, \\ \delta_p &= K_u \cdot \delta_{pn}, \\ \Delta h &= U_+ + U_-, \end{aligned} \quad (1)$$

$$U_+ = \sum_i \Phi(t - t_{+i}^n) \cdot \Phi(t_{+i}^k - t),$$

$$U_- = -\sum_j \Phi(t - t_{-j}^n) \cdot \Phi(t_{-j}^k - t),$$

где  $\delta_{pn}$  - перемещение штока РП;  $\delta_u$  - абсолютное значение (модуль) перемещения штока РП;  $\Delta h$  - функции знака перемещения штока РП;  $\delta_p$  - отклонения руля;  $K_u$  - передаточное число, связывающее перемещение штока РП с отклонением руля;  $U_+$  - функция, задающая временные интервалы, соответствующие положительному знаку перемещения РП (положительному отклонению руля);  $U_-$  - функция, задающая временные интервалы, соответствующие отрицательному знаку перемещения РП (отрицательному отклонению руля);  $\Phi(t)$  - функция Хэвисайда, равная 0 при  $t \leq 0$  и равная 1 при  $t > 0$ ;  $t_{+i}^n$ ,  $t_{+i}^k$  - начало и окончание  $i$ -го временного интервала, соответствующего положительному знаку перемещения РП (положительному отклонению руля);  $t_{-j}^n$ ,  $t_{-j}^k$  - начало и окончание  $j$ -го временного интервала, соответствующего отрицательному знаку перемещения РП (отрицательному отклонению руля);  $t$  - текущее время.

Представленная в (1) функция  $\Delta h$  задает управление полетом БЛА, обеспечивающее выполнение знакопеременного маневра.

Для исследования качества выполнения маневров, задаваемых с помощью команд управления в форме (1) необходима модель управляемого движения БЛА в пространстве. Такая модель разработана применительно к гипотетическому стабилизированному по крену осесимметричному БЛА с использованием методов теории случайных процессов и автоматического управления в соответствии со структурными динамическими схемами ЛА, приведенными в [1, 2] и

характеризующими связь углов отклонения рулей высоты и направления с траекторными углами БЛА.

Структурная схема модели представлена на рисунке 1.

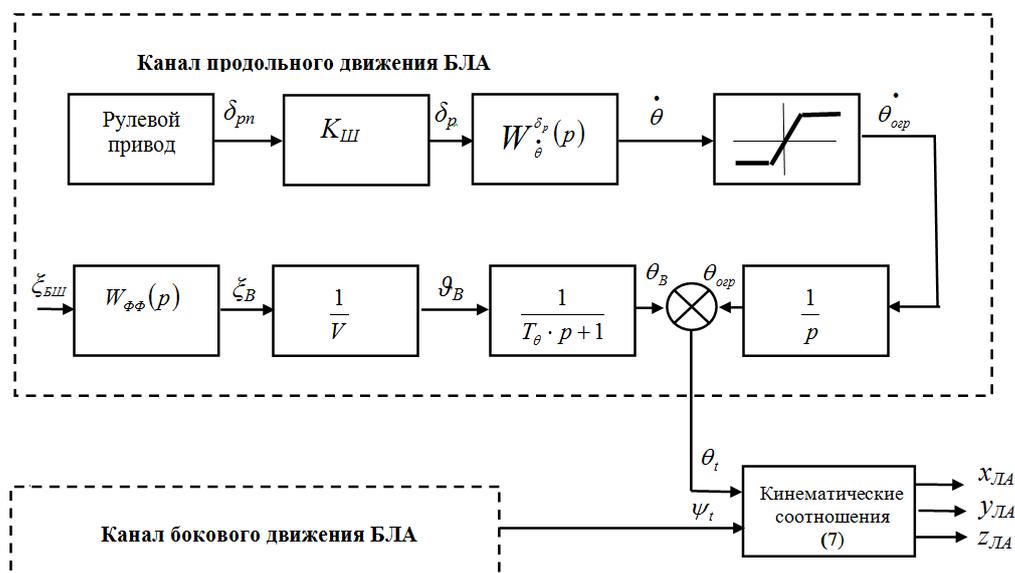


Рисунок 1 – Структурная схема модели пространственного движения БЛА

Учитывая, что в случае осевой аэродинамической симметрии стабилизированного по крену БЛА его продольное и боковое движения описываются одинаковыми уравнениями (с точностью до обозначений входящих в уравнения величин), приведем математическое описание одного (продольного) канала.

Передаточная функция (ПФ) производной угла наклона траектории  $\dot{\theta}$  по углу отклонения руля  $\delta_p$  в соответствии с [1,2] равна:

$$W_{\dot{\theta}}^{\delta_p}(p) = - \frac{a_{m_z}^{\delta}}{(p^2 + 2 \cdot d \cdot \omega_0 \cdot p + \omega_0^2) \cdot T_{\theta}}, \quad (2)$$

$$a_{m_z}^{\delta} = \frac{m_z^{\delta_B}}{I_z} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot b_A,$$

$$T_{\theta} = \frac{m \cdot V}{P + c_y^{\alpha} \cdot \left( \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \right)},$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot \frac{b_A}{I_z} \cdot \left( m_z^{\alpha} + \frac{b_A}{V \cdot T_{\theta}} \cdot m_z^{\omega_z} \right)},$$

$$d = \frac{1}{2 \cdot \omega_0} \cdot \left[ \frac{1}{T_{\theta}} - \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S \cdot \frac{b_A^2}{I_z \cdot V} \cdot \left( m_z^{\omega_z} + m_z^{\alpha} \right) \right],$$

$$\rho = 0.114 - 5.908 \cdot 10^{-3} \cdot H,$$

где  $a_{m_z}^\delta$  – коэффициент эффективности руля высоты;  $T_\theta$  – постоянная времени БЛА по тангажу;  $\omega_0$ ,  $d$  – частота и логарифмический декремент затухания недемпфированных короткопериодических продольных колебаний;  $m_z^{\delta_b}$  – производная коэффициента аэродинамического момента тангажа по углу отклонения руля высоты;  $I_z$  – момент инерции относительно поперечной оси БЛА;  $\rho$  – плотность воздуха;  $m$ ,  $V$  – масса и скорость полета БЛА;  $S$ ,  $b_A$  – площадь крыла и средняя аэродинамическая хорда крыла БЛА;  $P$  – сила тяги двигателя БЛА;  $c_y^\alpha$  – производная коэффициента подъемной силы по углу атаки;  $m_z^\alpha$ ,  $m_z^{\omega_z}$ ,  $m_z^{\dot{\alpha}}$  – производные коэффициента аэродинамического момента тангажа по углу атаки, безразмерным угловой скорости тангажа и угла атаки соответственно;  $H$  – высота полета БЛА.

Ограничитель угловой скорости  $\dot{\theta}$  может быть описан выражением:

$$\dot{\theta}_{огр} = \dot{\theta} \cdot \Phi\left(\dot{\theta}_m - \left|\dot{\theta}\right|\right) + \dot{\theta}_m \cdot \Phi\left(\dot{\theta} - \dot{\theta}_m\right) - \dot{\theta}_m \cdot \Phi\left(-\dot{\theta} - \dot{\theta}_m\right), \quad (3)$$

где  $\dot{\theta}_m$  – абсолютное значение максимальной допустимой угловой скорости.

В модели учитывается влияние атмосферной турбулентности, вызывающей случайные порывы ветра, на управляемое движение БЛА. Скорость случайных порывов ветра моделируется как случайный процесс с выхода формирующего фильтра, на вход которого подается стандартный белый шум с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. ПФ формирующего фильтра имеет вид [1]:

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{\sqrt{2 \cdot \tau_B \cdot \sigma_B}}{\tau_B \cdot p + 1}, \quad (4)$$

где  $\tau_B, \sigma_B$  – время корреляции и среднеквадратическое отклонение случайных порывов ветра.

В результате воздействия атмосферной турбулентности возникает случайное приращение  $\theta_B$  угла наклона траектории  $\theta$ , которое связано со скоростью порывов ветра  $\xi_B$  выражением вида:

$$\theta_B = \frac{\xi_B}{(T_\theta \cdot p + 1) \cdot V}. \quad (5)$$

Таким образом, угол наклона траектории  $\theta_t$ , являющийся выходом канала продольного движения БЛА, представляет собой сумму угла  $\theta_{огр}$ , определяемого командами управления, и случайного угла  $\theta_B$ , обусловленного воздействием ветровых возмущений:

$$\theta_t = \theta_{огр} + \theta_B. \quad (6)$$

Используя соотношения, аналогичные приведенным соотношениям (1)-(6), получим математическое описание канала бокового движения БЛА, выходом которого является путевой угол  $\Psi_t$ .

По траекторным углам  $\theta_t$  и  $\Psi_t$  может быть определено текущее пространственное положение БЛА в прямоугольной земной системе координат путем интегрирования следующих кинематических уравнений:

$$\begin{aligned}x_{ЛА} &= V \cdot \cos \psi_t \cdot \cos \theta_t, \\y_{ЛА} &= V \cdot \sin \theta_t, \\z_{ЛА} &= V \cdot \sin \psi_t \cdot \cos \theta_t.\end{aligned}\quad (7)$$

Для реализации в программной среде *Mathcad* разработанная математическая модель, представленная структурной схемой на рисунке 1 и выражениями (1)-(7), была преобразована в систему дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned}\dot{\xi}_B &= \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_B \cdot \dot{\xi}_{\delta_{ш}}}{\sqrt{\tau_B}} \cdot \frac{\xi_B}{\tau_B}, \\ \dot{\theta}_B &= \frac{\dot{\xi}_B - \theta_B \cdot V}{V \cdot T_\theta}, \\ \dot{\theta} &= \theta_1, \\ \dot{\theta}_1 &= \frac{a_{m_z}^\delta}{T_\theta} \cdot \delta_p - 2 \cdot d \cdot \omega_0 \cdot \theta_1 - \omega_0^2 \cdot \theta, \\ \dot{\theta}_{оэп} &= \theta_1 \cdot \Phi(\dot{\theta}_m - |\theta_1|) + \dot{\theta}_m \cdot \Phi(\theta_1 - \dot{\theta}_m) - \dot{\theta}_m \cdot \Phi(-\theta_1 - \dot{\theta}_m), \\ \dot{\xi}_{BB} &= \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_{BB} \cdot \dot{\xi}_{\delta_{ш}}}{\sqrt{\tau_{BB}}} \cdot \frac{\xi_{BB}}{\tau_{BB}}, \\ \dot{\psi}_B &= \frac{\dot{\xi}_{BB} - \psi_B \cdot V}{V \cdot T_\psi}, \\ \dot{\psi} &= \psi_1, \\ \dot{\psi}_1 &= \frac{a_{m_y}^\delta}{T_\psi} \cdot \delta_{рн} - 2 \cdot d_B \cdot \omega_{0B} \cdot \psi_1 - \omega_{0B}^2 \cdot \psi, \\ \dot{\psi}_{оэп} &= \psi_1 \cdot \Phi(\dot{\psi}_m - |\psi_1|) + \dot{\psi}_m \cdot \Phi(\psi_1 - \dot{\psi}_m) - \dot{\psi}_m \cdot \Phi(-\psi_1 - \dot{\psi}_m), \\ \dot{x}_{ЛА} &= V \cdot \cos(\psi_{оэп} + \psi_B) \cdot \cos(\theta_{оэп} + \theta_B), \\ \dot{y}_{ЛА} &= V \cdot \sin(\theta_{оэп} + \theta_B),\end{aligned}\quad (8)$$

$$\dot{z}_{\text{БЛА}} = V \cdot \sin(\psi_{\text{орп}} + \psi_{\text{В}}) \cdot \cos(\theta_{\text{орп}} + \theta_{\text{В}}).$$

Приведенные в (8) обозначения величин для канала продольного движения БЛА соответствуют принятым в (1)-(7). Смысл величин, введенных в (8) для описания канала бокового движения БЛА, очевиден.

С использованием реализованной в программной среде *Mathcad* математической модели (8) было проведено исследование предложенного способа формализованного представления команд управления рулями БЛА при выполнении пространственного маневра типа «восходящая змейка» с одновременным периодически выполняемым левым поворотом.

При моделировании были приняты следующие исходные данные: временные характеристики: общее время моделирования  $t_1=180$  с,  $t_{н+}=2$  с,  $t_{к+}=32$  с,  $t_{н-}=42$  с,  $t_{к-}=72$  с,  $t_{н0}=42$  с,  $t_{к0}=72$  с  $T_s = T_{s1}=90$  с.,  $n_s = n_{s1} = 2$ ;

начальные координаты БЛА:  $x_0=3000$  м,  $y_0=2000$  м,  $z_0=2000$  м;

геометрические, весовые и аэродинамические характеристики гипотетического БЛА:  $S=8$  м<sup>2</sup>,  $b_A=0.8$  м,  $m=120$  кг,  $I_z=14,7$  Н\*с<sup>2</sup>\*м,

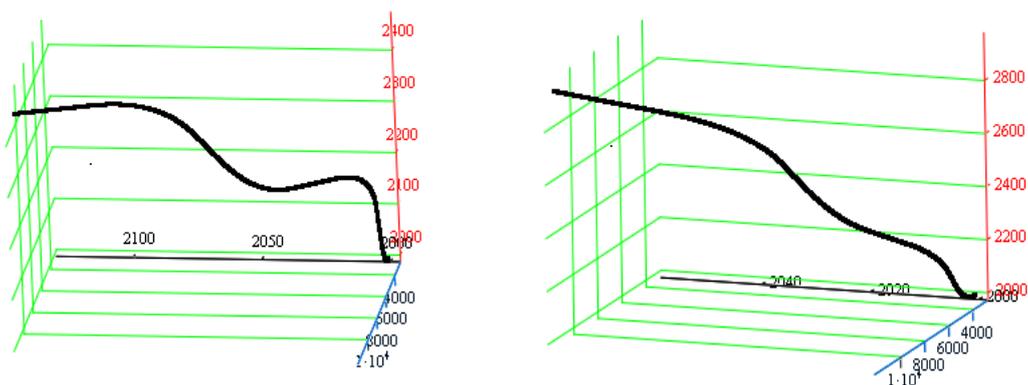
$I_y=16$  Н\*с<sup>2</sup>\*м,  $m_z^{\delta_B}=-0.5$ ,  $m_y^{\delta_H}=-0.4$ ,  $m_z^{\alpha}=1.0$ ,  $m_z^{\bar{\omega}_z}=1.5$ ,  $m_z^{\bar{\omega}_z}=-2.5$ ,  $\alpha=3*0.017$ ,  $P=60$  Н;

параметры РП и рулей:  $K_{\omega}=0.85$ ,  $\delta_{\omega}=60$  мм,  $\delta_{\omega B}=20$  мм.

Кроме того, были приняты следующие дополнительные ограничения:

$m=const$ ,  $J_z$ ,  $J_y=const$ ,  $q=const$ ,  $P=const$ ,  $d=d_B$ ,  $\omega_0=\omega_{0B}$ , а значения коэффициентов  $c_y^{\alpha}$  и  $c_x^{\alpha}$  определялись по формулам:  $c_y^{\alpha}=4.2 \cdot \alpha + 0.58$ ,  $c_x^{\alpha}=0.059 + \frac{\alpha}{0.21}$ .

Результаты моделирования приведены на рисунках 2. Анализ кривой рисунке 2а) показывает, что при знакопеременном отклонении РП БЛА выполняет пространственный маневр типа «восходящая змейка» с набором высоты и поворотом влево. Маневр завершается на высоте 2450 м. При этом направление маневра (вверх- вниз, влево – вправо) определяется знаком первоначального отклонения штока РП. На рисунке 2б) изображена траектория полета БЛА при дискретно-непрерывном изменении команд управления в продольном и боковом каналах. В этом случае траектория полета БЛА получается менее искривленной и обеспечивается набор большей высоты (2900 м) за счет уменьшения интенсивности пространственного маневрирования.



(x, y, z)

а)

(x, y, z)

б)

Рисунок 2 – Траектория полета гипотетического БЛА в трехмерном пространстве при дискретном изменении команд управления в продольном и боковом каналах

Таким образом, разработана математическая модель, связывающая команды, подаваемые на РП с соответствующими перемещениями рулевых поверхностей (рулей) и с пространственным положением БЛА при выполнении сложных пространственных маневров, показана возможность ее применения для исследования особенностей пространственного движения БЛА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланян А.Э. Системы автоматического управления полетом летательных аппаратов. Часть 1. – К.: КВВАИУ, 1984. С. 137, 435 с., ил.
2. Красовский А.А., Вавилов Ю.А., Сучков А.И. Системы автоматического управления летательных аппаратов. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986. С.39-64, 477 с., ил.
3. Гуткин Л.С., Борисов Ю.П., Валуев А.А. и др. Радиоуправление реактивными снарядами и космическими аппаратами. М.: Сов. Радио, 1968, С. 50-60, 680 с., ил.
4. Баранов А.А., Замыслов М.А., Мальцев А.М. Математическое моделирование действия рукоятки управления двигателем воздушного судна. Сборник тезисов докладов III Всероссийской НПК «АВИАТОР». Воронеж.: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С.79-80.

Земляной Е.С., к.т.н., начальник сектора НИО-ПП АО «РПКБ»

## **Информационно-управляющий комплекс бортового оборудования беспилотных летательных аппаратов**

В настоящее время отечественные и зарубежные исследования, направленные на изучение тенденций развития авиационной техники [1, 2] показали, что важным трендом является разработка беспилотных авиационных комплексов и их применение как средства решения задач боевой авиации в зонах военных конфликтов.

Принято считать, что беспилотные авиационные комплексы (БАК) представляют собой совокупность [1] беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), наземных средств управления, систем связи, программного обеспечения и прочих систем, при этом центральным элементом БАК является именно БПЛА.

Состав бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) БПЛА, согласно [3], схож с таковым для пилотируемых летательных аппаратов (ЛА) и включает в себя следующие системы:

- Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС);
- Спутниковые навигационные системы (СНС, GNSS), в том числе GPS, ГЛОНАСС, Galileo и др;
- Бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ);
- Бортовая радиолокационная станция (БРЛС);
- Система воздушных сигналов (СВС);
- Радиовысотомер (РВ);
- Оптико-электронная станция (ОЭС), с телевизионным, инфракрасным каналом, а также лазерным дальномером;
- Другие системы.

Одной из особенностей БПЛА является наличие ограничений, накладываемых на массогабаритные характеристики БПЛА и его грузоподъемность [1], что приводит к невозможности резервирования отдельных систем (напр., БИНС, БЦВМ, СНС), как это принято при разработке пилотируемых ЛА. Также возникает необходимость использовать ОЭС при решении задач навигации, наведения и управления БПЛА [1] и осуществлять интеграцию (комплексирование) всех имеющихся на борту систем и ПО показанных на рисунке 1.

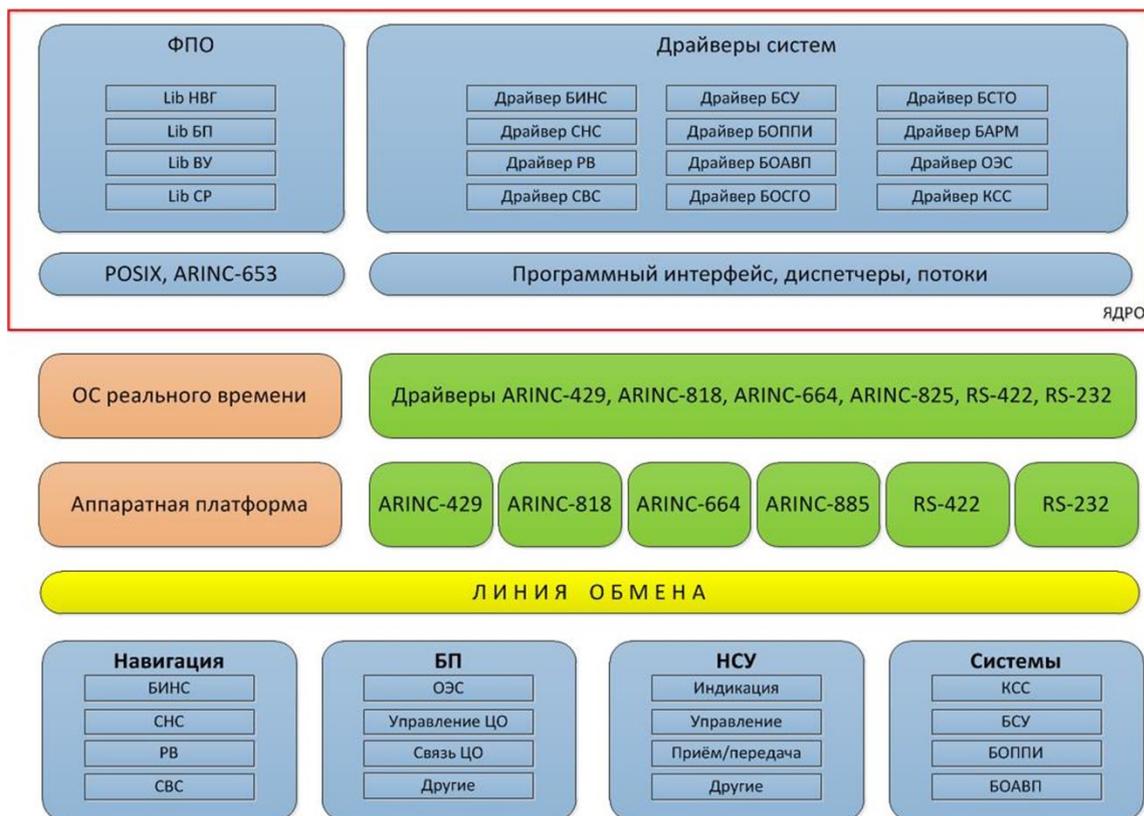


Рисунок 1 – Структура ПО КБО БПЛА

Разработка программного обеспечения информационно-управляющего комплекса (ИУК) бортового оборудования является одной из ключевых задач. Для разработчиков, имеющих опыт в разработке бортового программного обеспечения для пилотируемых ЛА, естественный интерес представляет именно работа по созданию программного обеспечения (ПО) для ИУК БПЛА.

В общем случае, задачи, решаемые функциональным программным обеспечением (ФПО) ИУК БПЛА, можно разделить на следующие:

- Задачи навигации, наведения и управления БПЛА;
- Задачи специального применения БПЛА, такие как сбор разведывательных данных, обнаружение целей, наведение АСП, корректировка артиллерийского огня и т.д.

При разработке ПО ИУК БПЛА, важной задачей является построение архитектуры программного обеспечения. Согласно [1], архитектура программного обеспечения, показанная на рисунке 2, является общепринятой и позволяет решать задачи навигации, наведения и управления БПЛА.

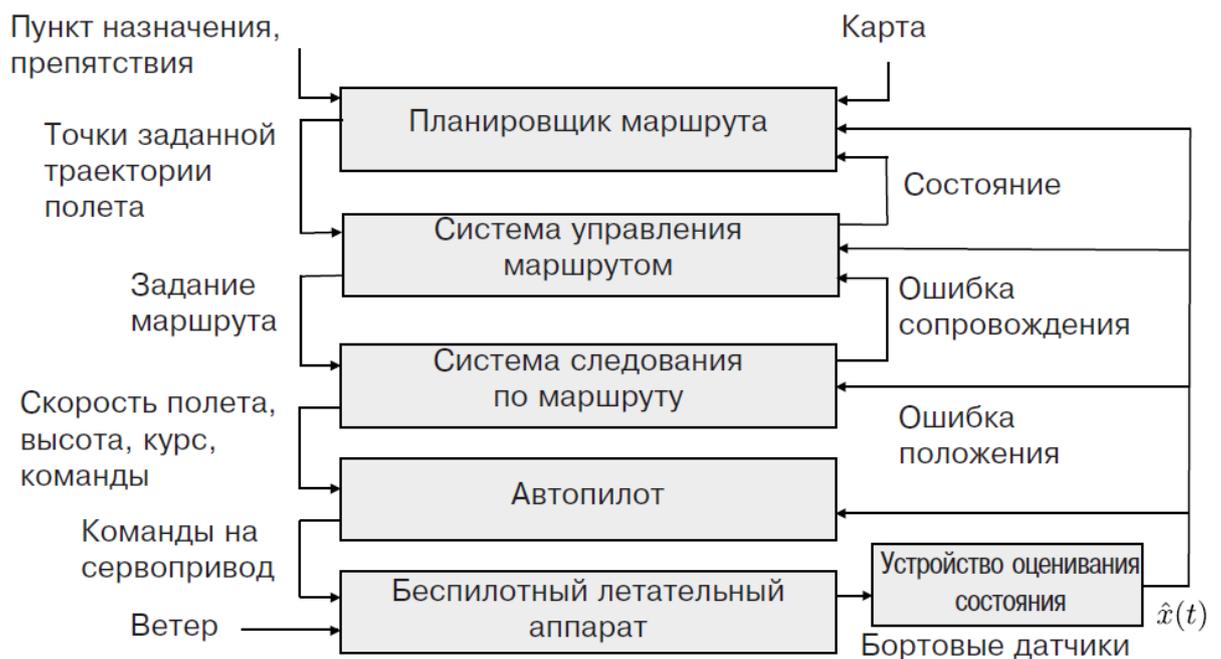


Рисунок 2 – Архитектура ПО ИУК БПЛА [1]

К задачам навигации, наведения и управления БПЛА относятся:

- Ввод и хранение программы полета БПЛА, работы целевого оборудования;
- Первичная обработка навигационной информации;
- Непрерывное счисление координат местоположения;
- Автономная навигация, в том числе в корреляционно-экстремальном режиме по информации, поступающей от ОЭС;
- Коррекция текущих координат местоположения по информации от БИНС, ОЭС, наземного пункта управления;
- Выполнение полета в автоматическом режиме по программе с выдерживанием заданных параметров над земной и водной поверхностью;
- Выполнение автоматического взлёта и посадки;
- Взаимодействие с наземной станцией управления (приём команд управления, передача навигационной, телеметрической, и другой информации);
- Управление режимами работы бортового целевого оборудования;

В данный момент в Раменском приборостроительном конструкторском бюро, являющимся лидером в области разработки БРЭО, активно ведутся работы по созданию ИУК БПЛА, его информационной и аппаратной интеграции. Решение данных задач базируется на достижениях в области авиационной техники,

подразумевает применение современных информационных технологий для выполнения требований ГОСТ Р51904 и достижения высоко качества продукции.

Таким образом, проведение данных работ по созданию ИУК бортового оборудования БПЛА позволит решать современные задачи боевой авиации средствами БПЛА и, как следствие, повысить эффективность применения до уровня мировых аналогов.

Список литературы:

1. Биард Р.У., МакЛейн Т.У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. М.: Техносфера, 2015. 312 с.

2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Веремеенко К.К. [и др.] Под редакцией М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова М.: Физматлит, 2009. 556 с.

3. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве / Л.И. Августов [и др.]; Под редакцией Г.И. Джанджгавы М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. 592 с.

Злотников К.А., д.т.н., профессор, заместитель директора по производству и НИОКР, филиал АО «Концерн «Вега» в г. Санкт-Петербурге;

Кудрявцев А.Н., заместитель начальника отдела, филиал АО «Концерн «Вега» в г. Санкт-Петербурге

### **Актуальные вопросы создания автоматизированных систем подготовки специалистов по управлению комплексами с беспилотными летательными аппаратами**

В настоящее время подготовка специалистов по управлению комплексами с беспилотными летательными аппаратами в военно-учебных заведениях и учебных центрах Министерства обороны Российской Федерации ведется с использованием автоматизированных средств подготовки специалистов, в том числе унифицированного учебно-тренажерного комплекса (УУТК) «Тренировка» и тренажеров управления комплексов с БЛА, поставляемых в войска. Применение УУТК в учебном процессе, как отмечается в отзывах потребителей, позволяет на новом качественном уровне осуществлять подготовку специалистов беспилотной авиации и реализует на практике интерактивную форму обучения на виртуальных тактических фонах [1].

Это достигается на основе использования виртуальной информационной среды боевого применения БЛА, реализованной на основе единого банка данных геопространственной информации и моделей фоноцелевой обстановки. Дальнейшим направлением развития автоматизированных средств подготовки специалистов по управлению комплексами с БЛА является создание автоматизированной системы подготовки, в основу которой может быть положен опыт создания УУТК подготовки боевых расчетов наземных пунктов управления комплексов с БЛА. Для обеспечения адекватности вырабатываемых навыков управления БЛА необходимо обеспечить возможность взаимодействия процедурных тренажеров управления БЛА различных типов с элементами автоматизированной обучающей системы при решении задач обучения по согласованным протоколам.

Наряду с УУТК, в состав автоматизированной системы подготовки может входить и мобильный пункт подготовки, который позволяет проводить объективный контроль и документирование действий операторов с выставлением объективной оценки в полевых условиях в ходе реальных полетов БЛА.

Автоматизированная система подготовки позволяет операторам теоретически и практически изучить порядок решения следующих типовых задач подготовки и применения комплексов с БЛА:

выбор района расположения комплекса с БЛА и проведение топогеодезической привязки НПУ на местности;

планирование полета и автоматизированная разработка программ полетов БЛА;

проведение контроля работоспособности аппаратуры НПУ и БЛА с моделированием возможных отказов и нештатных ситуаций;

взаимодействие с процедурными тренажерами управления БЛА различных типов (ближнего действия, малой и средней дальности);

обработка информации, поступающей от БЛА;

прием и предварительная обработка поступающей видовой информации;

координатная привязка поступающей видовой информации к цифровой картографической информации или опорному изображению местности;

дешифрирование изображений с выделением на снимке зон интереса;

обнаружение и распознавание одиночных и групповых объектов;

взаимодействие с потребителем;

формирование отчетных документов.

разработка отчетных документов.

Работа автоматизированной системы подготовки должна осуществляться в следующих режимах:

«Теоретическая подготовка»: обеспечивается получение знаний путем изучения обучаемым учебного материала, подготовленного преподавателем, с проведением контроля степени усвоения материала. Учебный материал может представлять собой текстовую, гипертекстовую, графическую, аудио-, видеоинформацию. Степень детализации информации определяется с учетом выделенного на обучение времени и уровня подготовки оператора с возможностью коррекции плана обучения в зависимости от результатов контроля знаний обучаемого. Результаты контроля знаний оператора выводятся на экран монитора обучаемого и руководителя занятия, а также на устройство документирования.

«Начальная подготовка»: обеспечивается выработка у обучаемого умений путем пошаговой отработки операций. При этом осуществляется показ правильного выполнения операции, выдача указания о необходимых действиях, выдача подсказки и предупредительного сигнала при неправильных действиях. Степень сложности отрабатываемых задач определяется с учетом выделенного на обучение времени и уровня подготовки оператора с возможностью коррекции плана обучения в зависимости от результатов контроля знаний обучаемого. Результаты контроля умений оператора выводятся

на экран монитора обучаемого и руководителя занятия, а также на устройство документирования.

«Обучение»: обеспечивается привитие обучаемому навыков самостоятельного решения задач по боевому применению комплекса с БЛА. При этом осуществляется предварительный показ правильной последовательности действий для решения поставленной задачи, а также выдача подсказки и предупредительного сигнала при неправильных действиях. Результаты контроля навыков оператора выводятся на экран монитора обучаемого и руководителя занятия, а также на устройство документирования.

«Тренаж»: обеспечивается закрепление у обучаемого навыков самостоятельного решения задач по боевому применению комплекса с БЛА. Все операции должностные лица расчета проводят без подсказок и предупредительных сигналов. Результаты выполненной работы выводятся на экран монитора руководителя занятия, а также на устройство документирования.

Программное обеспечение автоматизированной системы подготовки должна позволять организовать на ее основе полный цикл учебного процесса, включая следующие этапы:

подготовка обучения: формирование курсов обучения, разработку учебных программ, тематических планов, учебно-методических материалов для проведения занятий;

организация обучения: формирование учебных групп, расчетов, планирование занятий с учебными группами (расчетами);

подготовка преподавателя к проведению занятий: разработка сценария (плана) проведения занятий, подготовка контрольно-тестовой информации (в том числе видовой, картографической, телеметрической информации, а также вводных по отказам и нештатным ситуациям) с учетом уровня подготовки обучаемых и результатов предыдущих занятий;

подготовка обучаемых к проведению занятий: самостоятельное изучение учебных материалов, выполнение практических заданий, тестирование;

проведение занятий: самостоятельное (или под руководством преподавателя) изучение учебного материала, выполнение практических заданий, объективный контроль действий операторов, тестирование;

анализ результатов занятия: проверка результатов выполнения учебных заданий, анализ действий операторов, демонстрация результатов объективного контроля;

учет и анализ результатов успеваемости;

корректировка учебно-методических материалов в соответствии с результатами усвоения обучаемыми учебного материала.

Структурно-логическая схема функционирования автоматизированной системы подготовки при подготовке и проведении занятий представлена на рисунке 1.

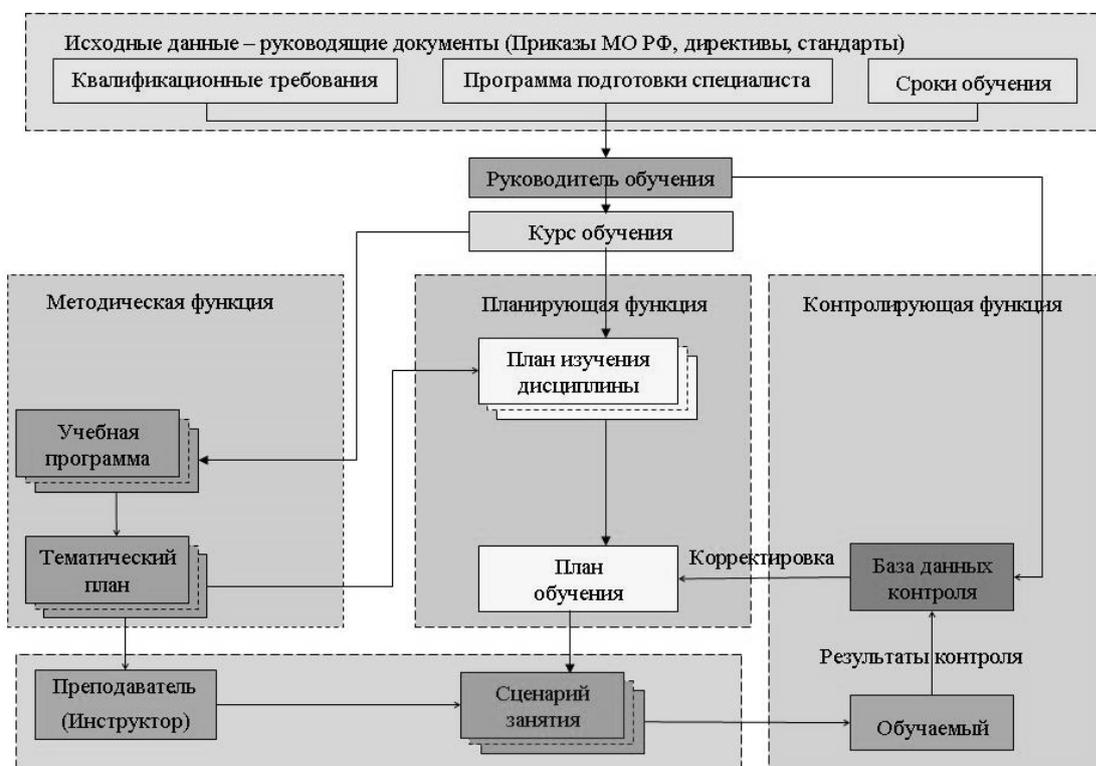


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема функционирования автоматизированной системы подготовки при подготовке и проведении занятий

Для подготовки операторов к решению задач в определенном районе и в заданных условиях осуществляется формирование виртуальной информационной среды, которая включает в себя следующие основные элементы:

- трехмерную реалистичную модель местности;
- подробные модели наиболее важных для наблюдения объектов;
- динамично меняющуюся обстановку, которая характеризуется составом и поведением объектов;
- визуальные эффекты, имитирующие изменение освещенности, видимости, погоды и других факторов;
- модели комплекса с беспилотным летательным аппаратом, включая модель движения аппарата, а также модель аппаратуры наблюдения и канала передачи данных.

Для подготовки моделей местности на районы применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами используются различные типы данных: цифровая картографическая информация,

фотоизображения местности, модели объектов инфраструктуры, наземной техники.

Необходимо предусмотреть в автоматизированной системе подготовки операторов возможность для преподавателя самостоятельно создавать модели районов местности для обучения. Это позволит осуществлять предполетную подготовку операторов к решению конкретной задачи в заданном районе.

Возможности, которые реализованы в автоматизированной системе подготовки операторов, позволяют достичь реалистичности создаваемых моделей за счет использования визуальных эффектов, имитирующих сезонные изменения, вариацию освещенность в разное время суток, а также погодные явления. Таким образом, используя одну и ту же модель местности, преподаватель имеет возможность создать обстановку различного уровня сложности, в зависимости от целей занятия и уровня подготовки обучаемых.

В базе данных автоматизированной системы подготовки операторов имеется большое количество моделей объектов наземной, морской и авиационной техники, которые могут быть использованы для создания разнообразной тактической обстановки.

Для каждого объекта моделируется не только внешний вид, но и «портрет» в различных диапазонах электромагнитного спектра (например, инфракрасном или сверхвысокочастотном). Это позволяет отображать объект на фоне местности так, как его видит различная аппаратура, установленная на современных беспилотных летательных аппаратах: фотоаппарат, видеокамера, инфракрасная камера или радиолокатор.

Моделирование полета беспилотного летательного аппарата по маршруту осуществляется с учетом особенностей динамики летательных аппаратов заданного класса.

Маршрут полета может быть проложен преподавателем или инструктором при подготовке к занятию или самим обучаемым при выполнении учебного задания.

Модели работы аппаратуры наблюдения учитывают особенности конкретного типа датчиков, установленных на беспилотном летательном аппарате, таких как спектральный диапазон наблюдения, разрешающая способность, возможность управления поворотом камеры и изменения масштаба изображения.

Важно отметить, что автоматизированная система подготовки должна быть разработана на отечественной защищенной программно-аппаратной платформе в различных исполнениях (учебные классы, унифицированные тренажеры, переносные учебно-тренажерные комплекты) по стандартам открытых систем, что обеспечивает:

- непрерывное пополнение информационной базы данных обучения;

- оперативную разработку сценариев обучения инструкторским составом подразделений ВС РФ и преподавательским составом ВВУЗов (ВУНЦ) ВС РФ;

- возможность эффективной модернизации и наращивания возможностей для обеспечения подготовки персонала перспективных БЛА.

К инновационным технологиям, рассматриваемым в качестве перспективных для реализации перспективной автоматизированной системе подготовки, следует отнести следующие функциональные элементы:

- квесты;

- образовательные игры;

- интерактивные векторные презентации;

- аннотированные документы с комментариями.

Анализ требований пользователей к перспективным обучающим системам показал, что вектором современных запросов к системам электронного обучения является повышенная интерактивность, при которой обучаемый мог бы максимально погрузиться в изучаемую сферу. В связи с этим, можно сделать вывод о том, что именно квесты – идеальный инструмент для обучения в условиях, приближенным к реальным. Инновационность подхода заключается в технологиях, упрощающих процесс создания квестовых задач.

Примером использования образовательных игр является реализация игры «Четвёрка» по мотивам телепередачи «Кто хочет стать миллионером», в которой обучаемому необходимо указывать правильный ответ, пользуясь различными подсказками. Игровая составляющая позволяет проходить обучение с большим интересом к предмету.

Интерактивные презентации позволяют максимально доходчиво подать материал как в дистанционной, так и в очной формах обучения. Современные технологии позволяют создавать и просматривать многоуровневые презентации, которые могут содержать в себе изображения, видео- и аудиоматериалы.

Технология импорта документов и аннотирования их элементов текстом или видеокomentarиями, судя по опыту общения с пользователями систем электронного образования, особенно необходима при наличии больших объёмов информации, нуждающихся в передаче обучаемым. Разработанный инструмент позволяет импортировать любой электронный офисный документ (а также таблицу или презентацию), преобразовать его и сделать доступным для

аннотирования, что существенно ускоряет процесс создания электронного курса.

Таким образом, автоматизированная система подготовки специалистов призвана обеспечить поддержку полного цикла теоретической и практической подготовки операторов НПУ комплексов с БЛА и может быть использована:

в учебных заведениях – для базовой профессиональной подготовки специалистов по практическому применению комплексов с БЛА;

в учебных центрах и подразделениях применения - для подготовки инструкторского состава, повышения уровня одиночной подготовки и слаженности боевых расчетов, предполетной тактической подготовки к решению конкретных специальных задач видеоконтроля и мониторинга, а также переучивания личного состава для освоения новых комплексов с БЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Злотников К.А., Прищепа Ю.В. Актуальные вопросы создания автоматизированных обучающих систем для подготовки операторов наземных пунктов управления комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга: сб. науч. ст. по материалам I Всероссийской НПК (27-28 мая 2014 г). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА» 2014, С.219-223.

Ищук И.Н., д.т.н., доцент, полковник, начальник 42 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Филимонов А.М., капитан, адъютант 42 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Степанов Е.А., майор, адъютант 42 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Постнов К.В., капитан, адъютант 42 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

### **Алгоритм классификации объектов воздушной разведки комплексами с беспилотными летательными аппаратами по данным тепловых томограмм**

В статье представлен алгоритм классификации объектов воздушной разведки, позволяющий на основе кубоида инфракрасных изображений, получаемого в результате периодической съемки с беспилотного летательного аппарата в инфракрасном диапазоне, формировать сегментированные изображения и тепловые томограммы местности, позволяющие демаскировать объекты военной техники по новым признакам – теплофизическим характеристикам.

В последние годы как в России, так и в других странах мира в практику дистанционного зондирования Земли всё более ускоряющимися темпами внедряются технологии многоспектральной съемки. Данный вид съемки представляет собой новое перспективное направление исследования объектов поверхности Земли посредством изучения свойств объектов на основе анализа информации о распределении отраженного от них излучения в зависимости от длины волны. Многоспектральная съемка реализует для заданного района местности одновременное получение десятков и сотен изображений одной и той же сцены, зафиксированных в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн в различные промежутки времени. При многоспектральной съемке наиболее значимыми являются данные, полученные в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, так как информация о температурах объектов, расположенных на поверхности Земли, позволяет дистанционно определять их теплофизические свойства. Однако данная задача требует построения сложной математической модели процессов теплообмена, а также учета всего многообразия факторов, влияющих на процесс формирования радиационных температур и определяющих климат на поверхности земли. Следовательно, можно сделать вывод об актуальности и целесообразности разработки принципиально новых программно-математических методов обработки и анализа информации, полученной

в ИК диапазоне длин волн, с целью определения теплофизических свойств дистанционно исследуемых объектов, а также их дальнейшей сегментации и идентификации. Для решения данной задачи был разработан алгоритм классификации объектов военной техника (ОВТ) комплексами с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА).

Для экспериментальной апробации алгоритма классификации ОВР КБЛА по данным тепловых томограмм при решении задач обнаружения ОВР в ИК диапазоне длин волн в естественных условиях, была рассчитана томограмма по теплопроводности, полученная по данным периодической съемки с БЛА коптерного типа (рисунок 1).

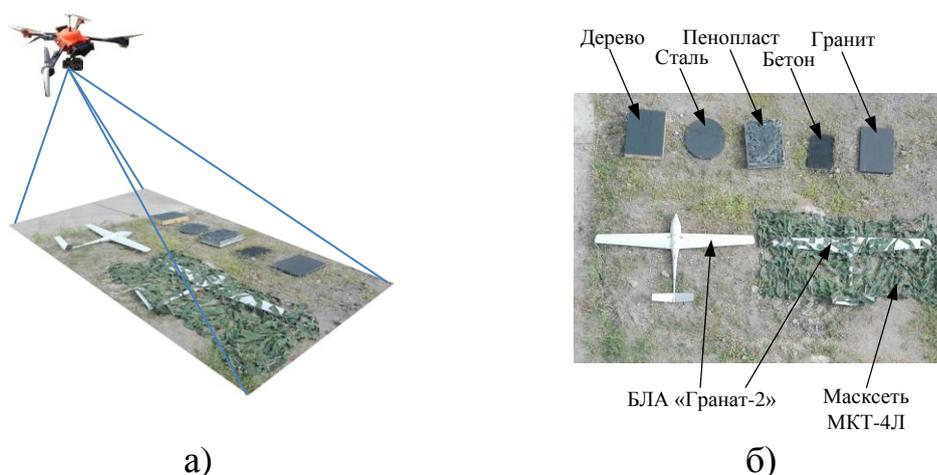


Рисунок 1: а) модельная обстановка проведения натурального эксперимента;  
 б) изображение, полученное в результате проведения эксперимента в видимом диапазоне длин волн 20.06.2016 г. в 12:00

В процессе натурального эксперимента была произведена оценка вероятности обнаружения двух планеров КБЛА ближнего действия «Гранат-2» на стартовой позиции с применением маскировочной сети МКТ-4Л. В качестве эталонов были использованы следующие материалы: дерево (сосна) ( $\lambda = 0,18 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ,  $c = 2300 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ), сталь ( $\lambda = 58 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ,  $c = 482 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ), пенопласт ( $\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ,  $c = 1400 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ), бетон ( $\lambda = 0,7 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ,  $c = 710 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ) и гранит ( $\lambda = 3,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ,  $c = 880 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ). Съемка велась тепловизионным приемником Flir Tau2 с высоты 10 метров в течение суток 20.06.2016 г. с интервалом 30 минут. В результате воздушной съемки всего было получено 48 ИК изображений (рисунок 2).

С целью стандартизации изображений снимки подверглись плановой фотограмметрической и радиометрической обработкам. В результате были уменьшены погрешности измерений, обусловленные особенностью прохождения сигналов от объектов к камере, техническими характеристиками детекторов аппаратуры, производящей радиационные измерения и нестабильным положением

тепловизионного приемника, установленного на борту БЛА, вызванным случайным влиянием внешних факторов (ветер, ошибки управления, вибрации).



Рисунок 2 – ИК сигнатуры, полученные в результате проведения эксперимента  
а) 20.06.2016г. в 12:00 б) 20.06.2016г. в 00:00

Для выполнения вышеперечисленных операций были использованы алгоритмы, реализованные в специализированном программном обеспечении.

В соответствии с приведенными выше этапами выполнения способа классификации ОВР с учетом фона и эталонных материалов на основе построения тепловых томограмм, был произведен перерасчет значений радиационных температур в значения избыточных температур (рисунок 3).

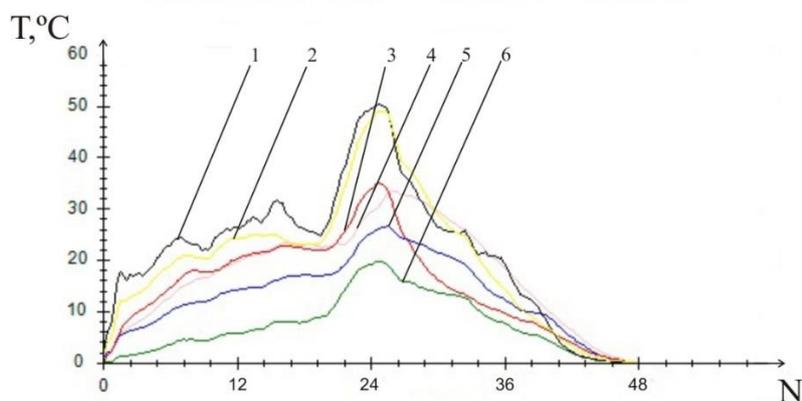


Рисунок 3 – График суточного изменения избыточных температур на поверхности эталонных материалов и фона (1 – пенопласт, 2 – дерево, 3 – железо, 4 – гранит, 5 – бетон, 6 – грунт (фон)).

Применив корреляционный алгоритм обработки кубоида ИК изображений, были получены значения коэффициентов корреляции для каждого из эталонных материалов и фона.

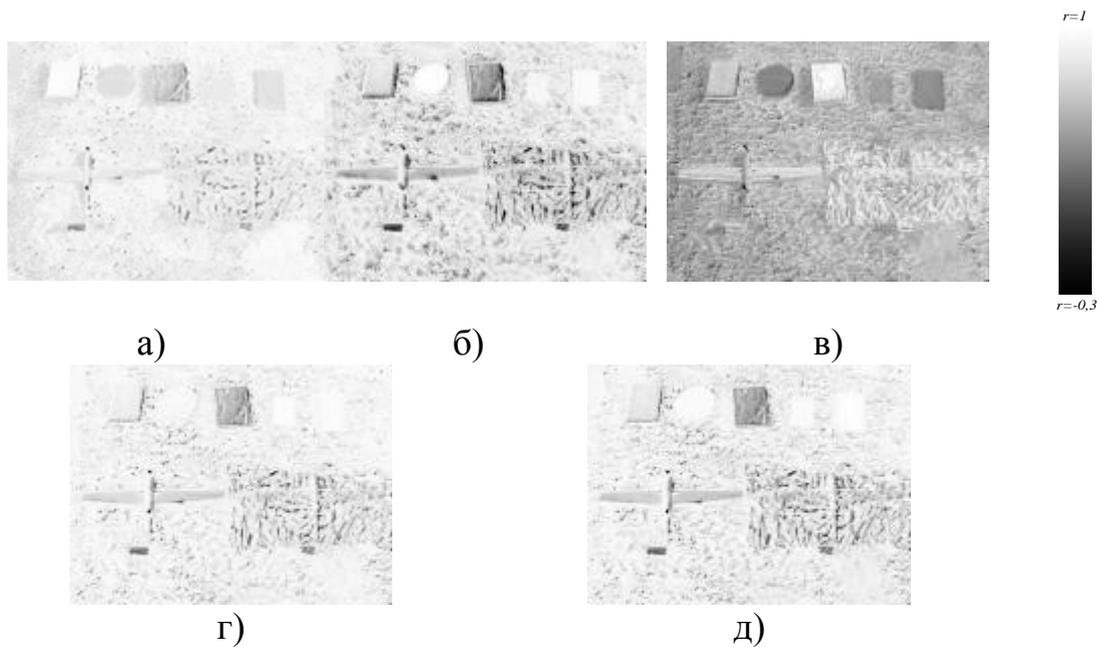


Рисунок 4 – Псевдоизображения коэффициентов корреляции, нормированных к градациям яркости для различных эталонных материалов (дерево (а), сталь (б), пенопласт (в), бетон (г), гранит (д))

На основании проведенных вычислений была рассчитана матрица приближенности областей изображения к эталонным материалам, для которых значение коэффициента корреляции оказалось наибольшим.

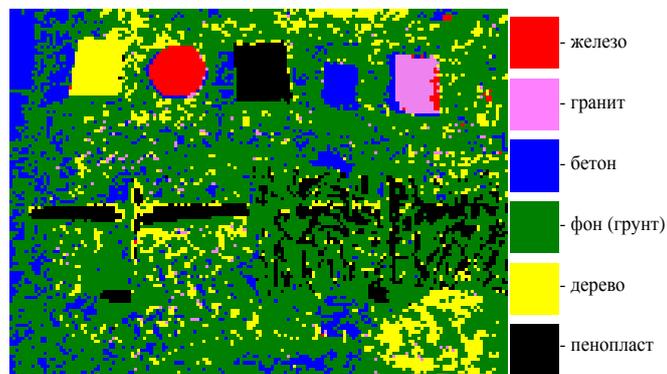


Рисунок 5 – Результат выполнения корреляционного алгоритма обработки кубоида ИК изображений по всем эталонным материалам и фону

В соответствии с алгоритмом численного решения нелинейного двумерного параболического уравнения теплопроводности локально-одномерным методом на основе неявных разностных схем, было получено решение прямой задачи теплопроводности [1]. Для максимального учёта всех процессов, влияющих на формирование теплового поля объектов воздушной разведки и подстилающей

поверхности, при построении математической модели применялись граничные условия теплового баланса земной поверхности и сопряжения, учитывающие неидеальность теплового контакта соприкасающихся поверхностей. Функция источника тепла, используемая в математической модели, аппроксимирована гиперболической зависимостью. Также произведен учет зависимости теплофизических параметров от температуры путем введения нелинейности теплофизических параметров.

Алгоритмом численного решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности (КОЗТ) на основе стохастического метода условной оптимизации квадратичного функционала КОЗТ была решена в 2 этапа. В основе реализации каждого из этапов лежит постановка и решение КОЗТ с составлением и минимизацией функционала невязки, построенной по данным расчётных избыточных температур на поверхности исследуемых объектов и фона, и измеренных тепловизионным приемником с использованием евклидовой нормы [2,3].

Сначала КОЗТ решалась для эталонных материалов. В результате решения получены оцененные значения параметров аппроксимирующих функций, и коэффициентов зависимости теплофизических параметров от температуры. Затем КОЗТ была решена во всех точках пространственного разрешения тепловизионного приемника.

Расчет прямой и обратной коэффициентной задачи теплопроводности в описанной постановке, с учетом рассчитанной корреляционным алгоритмом матрицы приближенности, позволил получить оцененные значения теплопроводности в каждой точке пространственного разрешения тепловизионного приемника и построить тепловую томограмму. Для наглядного ее представления, пространственное распределение теплофизических параметров было представлено в виде псевдоизображения, в котором значения теплопроводностей были приведены к логарифмической шкале и пересчитаны в градации яркостей (оттенки серого) (рисунок 6б).

Сравнительный анализ двух изображений (рисунок 6) показал, что псевдоизображение томограммы на рисунке 6б является более контрастным, чем на рисунке 6а, следовательно, в случае визуального поиска на них техногенных объектов оператором-дешифровщиком, наилучший результат решения задачи обнаружения будет достигнут по псевдоизображению томограммы.

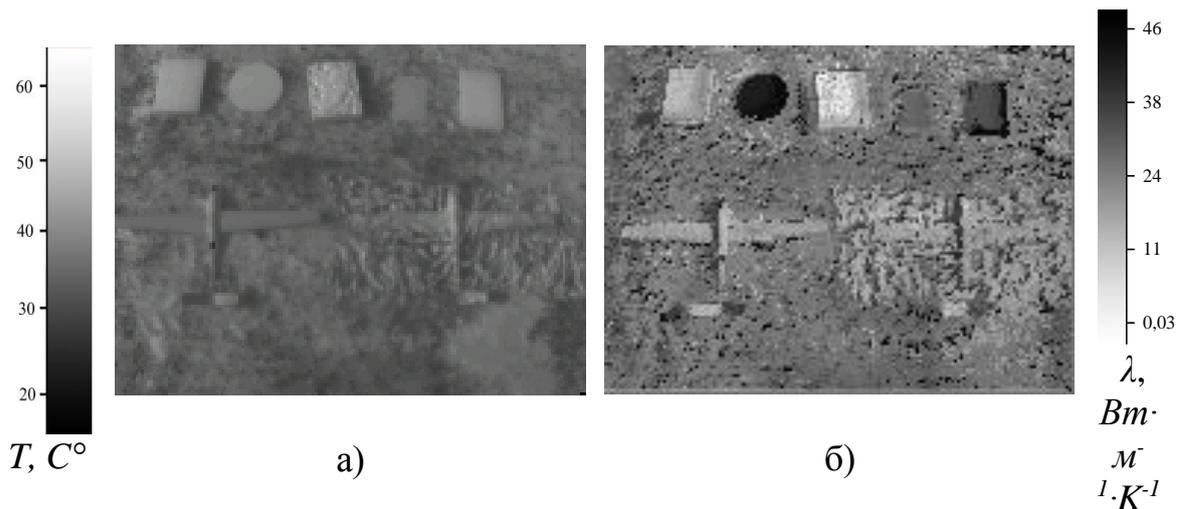


Рисунок 6 – Изображения ОВР:  
 а) ИК изображение, полученное комплексом с БЛА;  
 б) рассчитанная томограмма

В ходе автоматизированного решения задачи поиска объектов путем классификации построенной тепловой томограммы, эффективность различения объектов лучше всего отражает гистограмма распределения оцененных значений теплопроводности (рисунок 7б).

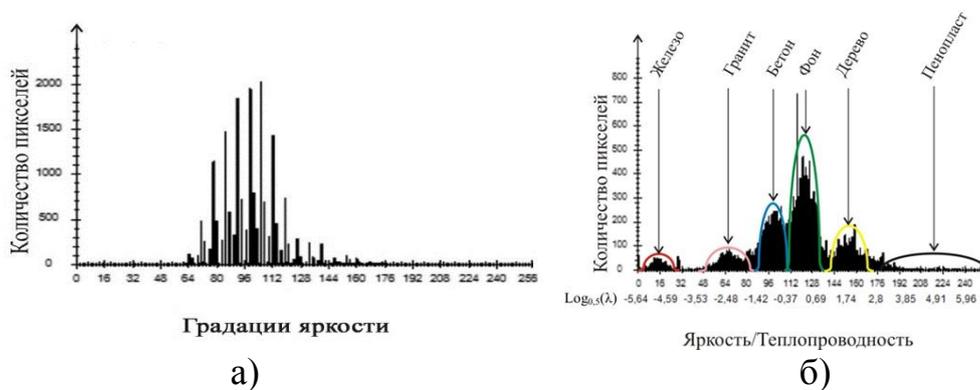


Рисунок 7 – а) гистограмма ИК изображения; б) гистограмма распределения оцененных логарифмированных значений теплопроводности

Использование функции максимального правдоподобия позволило произвести классификацию объектов на основе точечной оценки принадлежности пикселя на изображении тепловой томограммы к соответствующему классу (рисунок 8б). Из анализа рисунка 7б видно, что при решении задачи классификации объектов по классам: железо, гранит, бетон, грунт (фон), дерево, пенопласт, распределения оцененных значений теплопроводности группируются

вблизи значений теплопроводности соответствующих эталонных материалов с минимальным среднеквадратическим отклонением [1].

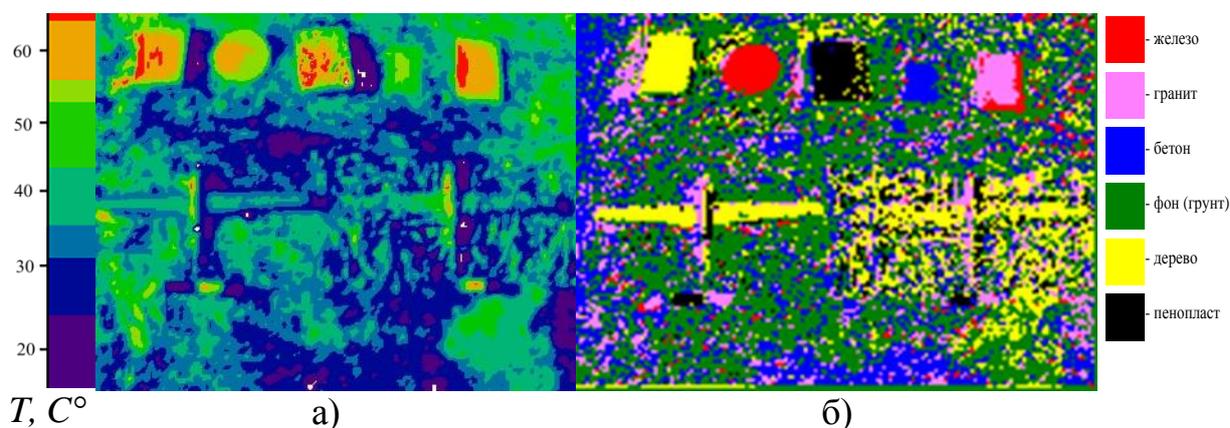


Рисунок 8 – Результат классификации объектов на основе яркости ИК изображения а) и на основе точечной оценки принадлежности пикселя на изображении тепловой томограммы к соответствующему классу б).

Сравнение результатов классификации объектов по градиентам яркости (рисунок 8а) и по тепловой томограмме (рисунок 8б) показало, что поиск объектов по распределению оцененных значений теплопроводности является более эффективным, так как позволяет разделить объекты на классы. Разделение стало возможным благодаря выявлению различий теплофизических параметров и тепловой инерции объектов, а также ввиду учета различий в процессах теплообмена между объектами и окружающей средой.

Таким образом, применение методики классификации ОВР КБЛА по данным тепловых томограмм при решении задач обнаружения ОВР в ИК диапазоне длин волн позволило в ходе натурного эксперимента с более высоким качеством распознать не только объекты, расположенные на грунте, но и выделить область изображения, покрытую маскировочной сетью, а также различить часть бетонной плиты, расположенной слева от БЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищук И.Н., Филимонов А.М., Степанов Е.А., Постнов К.В. Способ классификации стационарных и квазистационарных объектов по данным динамических инфракрасных изображений, получаемых комплексами с беспилотными летательными аппаратами. *Радиотехника*, 2016, 10, С. 145-153
2. Ищук И.Н., Громов Ю.Ю., Постнов К.В., Степанов Е.А., Тяпкин В.Н. Корреляционная обработка кубоида инфракрасных изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Часть 1. Моделирование и обработка инфракрасных сигнатур

техногенных объектов в процессе суточного изменения температур // Техника и технологии, 2016, № 9(3), С. 310–318.

3. Ищук И.Н., Филимонов А.М., Постнов К.В., Степанов Е.А., Дмитриев Д.Д. Корреляционная обработка кубоида инфракрасных изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Часть 2. Метод обработки инфракрасных сигнатур эталонных объектов на основе численного решения нелинейной задачи теплообмена // Техника и технологии, 2016, 9(3), С. 376-384.

Костяшкин Л.Н., к.т.н., доцент, директор-главный конструктор НКЦ ВКТ АО «ГРПЗ»;

Бондаренко Д.А., к.т.н., главный конструктор направления НКЦ ВКТ АО «ГРПЗ»;

Муравьев С.И., к.т.н., доцент, начальник лаборатории НКЦ ВКТ АО «ГРПЗ»

## **Видеоинформационные и лазерные системы для высокоточного прицеливания и наведения управляемого оружия**

Основное содержание многих целевых задач БЛА связано с получением визуальной информации в целях разведки местности и объектов интереса на ней, целеуказания средствам поражения и контроля результатов их действия, топогеодезического обеспечения войск и др. Центральным узлом, обеспечивающим получение видеоинформации, отвечающей необходимым требованиям, являются оптико-электронные системы (ОЭС). В ОЭС БЛА интеллектуальная обработка телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТПВ) изображений имеет особую актуальность при решении задач обнаружения и автосопровождения целей и последующего управления процессом доведения боеприпаса до необходимого финала. Для решения названных задач в АО "ГРПЗ" разрабатываются и производятся технические средства, которые могут использоваться непосредственно в тяжелых и средних БЛА, или на их основе могут быть разработаны модификации для применения на легких БЛА.

Аппаратура обработки видеоизображений (изделия семейства многофункциональных систем обработки видеоизображений - СОВИ "Охотник") обеспечивает в реальном времени реализацию набора следующих функций:

*улучшение видения* передаваемых с БЛА ТПВ и монохромных/цветных ТВ изображений различных спектральных диапазонов, особенно в неблагоприятных условиях наблюдения в этих же целях *комплексирование* ТВ и ТПВ изображений, с возможностью его совмещения с 3-х мерной картой местности и в пределе формированием синтетического изображения (технология ESVS—enhanced synthetic vision system);

*координатные преобразования* изображений, включающие:

– *электронную стабилизацию* картины поля зрения видеосенсора;

– *поворот* изображения на заданный угол;

– *электронное масштабирование* изображения;

– электронную *юстировку* полей зрения видеосенсоров (выравнивание полей зрения и юстировка линий визирования);

*визуальное (операторское) или автоматическое обнаружение цели;*

*ручной (операторский) или автоматический захват цели;*

*автоматическое сопровождение цели/ориентира*, реализуемое измерением разности координат цели и линии визирования в последовательности кадров и управлением на этой основе приводами ОЭС для обеспечения высокоточного слежения за ней в замкнутом контуре. Наличие функции автосопровождения цели, или фрагмента местности в составе решаемых задач СОВИ дает возможность обеспечивать не только прицеливание, но и стабилизировать выбранную для визуального контроля фоноцелевую картину, независимо от параметров движения БЛА и особенностей его полетных флуктуаций, обеспечивать траекторию его движения по отношению к выбранному ориентиру, или участку местности. Масса различных изделий семейства СОВИ "Охотник" лежит в пределах 3-5 кг, но при необходимости может быть уменьшена до 1-2 кг (при бескорпусном исполнении).

Для ударных БЛА малой и средней дальности реализуемые аппаратурой ОЭС функции обнаружения и автосопровождения целей предполагают последующее решение задачи наведения управляемого оружия (УО). Эта задача может быть решена на основе использования лазерно-лучевой телеориентации УО, передающий модуль (ПМ) которой размещается на управляемой платформе ОЭС.

Лазерно-лучевая система наведения (ЛСН) управляемого оружия предназначена для высокоточного наведения УО ближнего боя (до 10-12 км) и обеспечивает высокие вероятность и точность наведения, является многоканальной (одновременное поражение нескольких целей), отвечает требованиям помехоустойчивости, компактности аппаратуры, простоты использования и обслуживания, обеспечения инвариантности к типам УО и т.п.

ЛСН формирует передающим устройством пространственно-кодированный световой растр (информационное поле - ИП), центр которого совмещен с линией визирования цели, фотоприемная бортовая аппаратура УО определяет свое местоположение в ИП и формирует сигналы управления, направляющие УО в центр ИП. В системе используется непрерывный твердотельный лазер с накачкой лазерными диодами. В разработанной в АО «ГРПЗ» аппаратуре ЛСН, в отличие от многих аналогов, образование ИП осуществляется компактным, малоинерционным, акустооптическим двухкоординатным дефлектором, не содержащим механических узлов и управляемым электрическими сигналами. Такими техническими решениями

обеспечиваются увеличение соотношения сигнал/шум, снижение погодных ограничений на применение ЛСН, увеличение частоты смены информации в лазерном растре, необходимое для построения высокоточных систем наведения и применения высокоскоростных типов УО.

Аппаратура ЛСН обеспечивает работу в 1, или 2-х каналах наведения одновременно с дальностями управления до 10-12 км, с возможностью компенсации углов крена носителя –  $\pm 180^\circ$ . Практически применявшиеся виды УО – ПТУР типа «Атака», ЗУР «Сосна». Масса составных частей изделия: блок электронный – 4,5 литров, передающий модуль – не более 1,5кг.

СОВИ «Охотник» и ЛСН могут применяться не только по отдельности в составе ударных БЛА, но наиболее эффективно их использование совместно, в составе интегрированного оптико-электронного прицельного комплекса. При этом аппаратура этих изделий обеспечивает:

- обнаружение целей на телевизионных и тепловизионных изображениях (оператором, или автоматически);
- автоматическое определение текущих координат целей и управление платформой с видеоканалами и передающим модулем ЛСН для обеспечения непрерывного слежения за выбранной целью;
- высокоточное наведение управляемого оружия на отслеживаемую цель (линия визирования оптики прицела и, соответственно, центр информационного поля ЛСН, удерживаются на цели автоматом сопровождения целей СОВИ).

В таком комплексе реализуется возможность двухконтурного автоматического управления положением информационного поля ЛСН в пространстве – один контур электромеханический ОЭС прицела, со своей точностью и ограниченной динамикой, а другой контур – электронный, в пределах поля зрения оптики (автомат управляет непосредственно через акустооптический дефлектор положением информационного поля) с высокой динамикой и высокой точностью. Это дает возможность обеспечить высокоточную работу по резкоманеврирующим динамичным целям.

Дальнейшее развитие разработок этого направления связано с созданием ЛСН в виде моноблока массой 3,5 кг и управления наведением нескольких типов УО, что открывает новые возможности его применения.

Медведев П.В., к.т.н., старший научный сотрудник в департаменте навигационных и связных систем московского филиала ОАО «ВНИИР-Прогресс»

### **Эффективность помехоустойчивых адаптивных антенных решёток приёмников ГНСС БЛА в условиях воздействия множества распределённых источников помех**

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) являются основным средством навигации для многих подвижных систем и, в частности, для современных беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Однако применяемые в навигационных комплексах БЛА приемники ГНСС обладают крайне низкой помехоустойчивостью, как следствие ограничивают их применение в сложных радиоэлектронных условиях.

Практически все виды помех сигналам ГНСС можно разделить на маскирующие и имитационные. Маскирующие «подавляют» слабые сигналы с навигационных спутников более мощным шумоподобным радиосигналом, разрушая навигационное поле ГНСС. Одним из главных достоинств маскирующих помех это их высокая эффективность при минимальных требованиях к источнику помех.

Действительно, постановка помех для аппаратуры приема сигналов ГНСС с точки зрения классической РЭБ имеет особенности. Первая, отсутствие необходимости проведения радиотехнической разведки, так как заранее известны все характеристики каналов навигационных сигналов. Вторая особенность – крайне низкий уровень полезного сигнала (минус 161...155 дБВт).

Основным показателем помехоустойчивости аппаратуры ГНСС является максимальное отношение мощности помехи  $J$  к мощности сигнала  $S$  на входе приемника, при котором приемник остается работоспособным (рисунок 1). Используемая в настоящее время аппаратура приема сигналов ГНСС имеет помехоустойчивость  $J/S=30...50$  дБ. Теоретические расчеты показывают, что постановщик помех мощностью 10 Вт способен подавить такую навигационную аппаратуру в радиусе десятков километров.

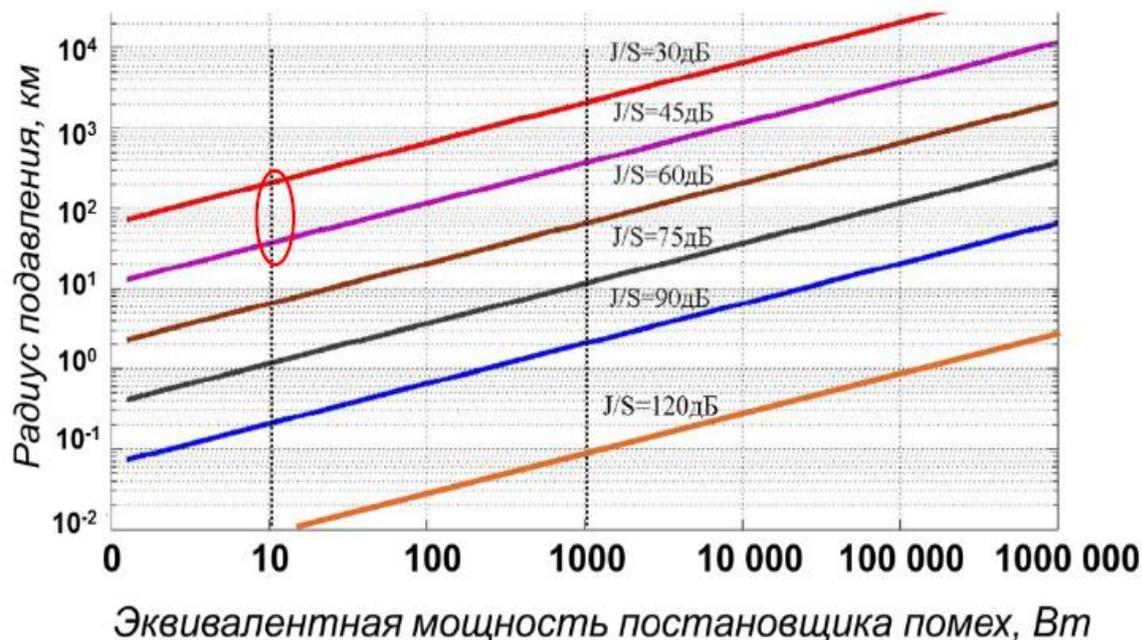


Рисунок 1 – Расчетный радиус подавления аппаратуры ГНСС

Однако, несмотря на малую мощность сигналов навигационных спутников и известность параметров их радиоканала, добиться удовлетворительной помехоустойчивости возможно. Сделать это позволяют цифровые адаптивные антенные решетки (ЦААР), реализующие алгоритмы пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС). Приемники ГНСС с ЦААР эффективно борются с помехами. Формируемая в таких устройствах адаптивная диаграмма направленности позволяет использовать пространственные различия источников помех и источников полезных сигналов, в данном случае, навигационных космических аппаратов (рисунок 2).

Из теории ПВОС следует, что с помощью ЦААР с  $N$  антенными элементами можно подавить  $N-1$  пространственно разнесенных источников излучения. То есть четырехэлементная ЦААР позволит подавить три помехи, пятиэлементная – четыре помехи, шестиэлементная – пять и так далее.

Для эффективного подавления навигационного поля ГНСС в настоящее время рассматривается применение множества рассредоточенных постановщиков помех. Воздействие множества источников помех способно эффективно бороться не только с типовыми одноантенными приемниками ГНСС, но и с аппаратурой ГНСС с ЦААР.

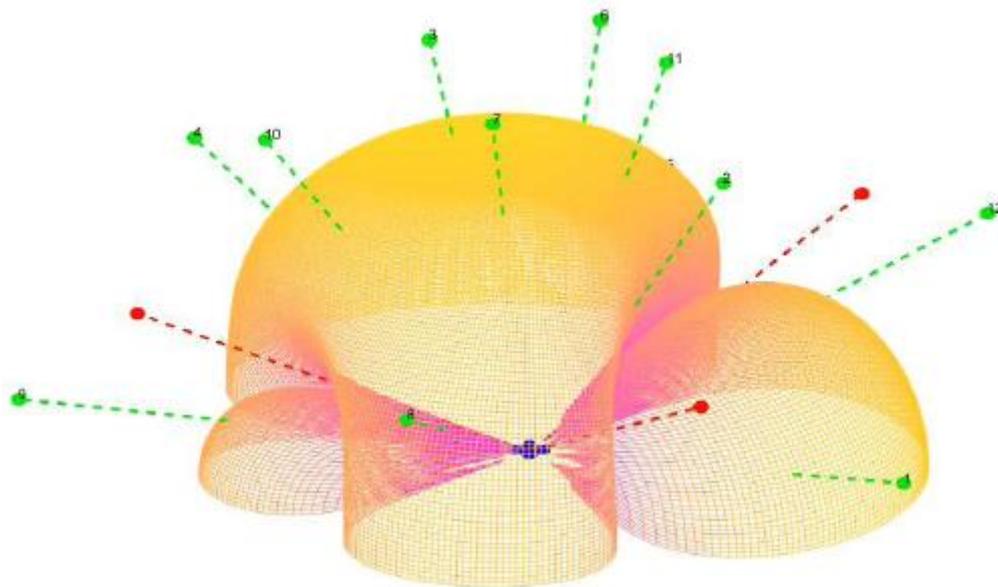


Рисунок 2 – Адаптивная диаграмма направленности. Зеленым цветом показано направление прихода полезных сигналов, красным – помеховых. В центре синим цветом показано расположение элементов ЦААР

С целью оценки эффективности воздействия распределенного множества помеховых источников на ЦААР проведено детальное моделирование. При моделировании рассматривался полет БЛА на разных высотах над полем источников помех (ИП), размещаемых на заданном взаимном удалении друг от друга.

Моделирование показало, что:

- восьмиэлементная ЦААР формирует единый ноль диаграммы направленности в форме кольца, охватывающий все источники помех, в том числе, когда количество источников помех значительно превышает количество степеней свободы адаптивной антенной решетки ( $N-1$ ).

- наблюдается устойчивый прием сигналов ГНСС на высотах полета от нуля до 2500 м, то есть подавления ЦААР помехами не происходит.

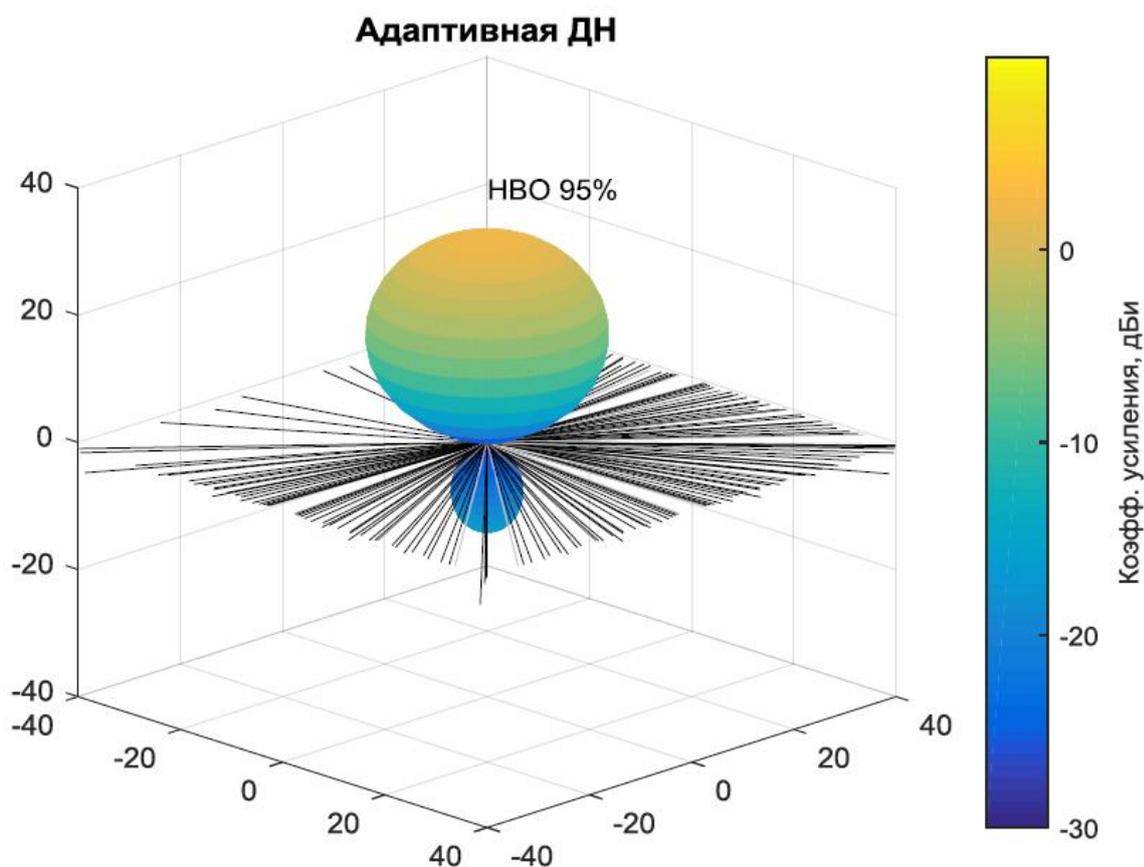


Рисунок 3 – Адаптивная диаграмма направленности при воздействии множества распределенных источников помех

Для приведенного рисунка были использованы следующие параметры сигнально-помеховой обстановки:

- Помехоустойчивость ЦААР 90 дБ
- Высота полета БЛА 1000 м
- Расстояние между ИП 15 км
- Энергопотенциал каждого ИП 2 кВт
- Количество ИП без ограничения

Эффективность ЦААР в поле множества постановщиков помех обоснована тем, что:

- Линии визирования многих ИП сливаются в узкие сектора.
- Телесный угол наблюдения многих ИП пропорционален высоте полета.
- Угловое слияние ИП эквивалентно уменьшению числа ИП.
- Множество ИП охвачено одним общим нулем диаграммы направленности.

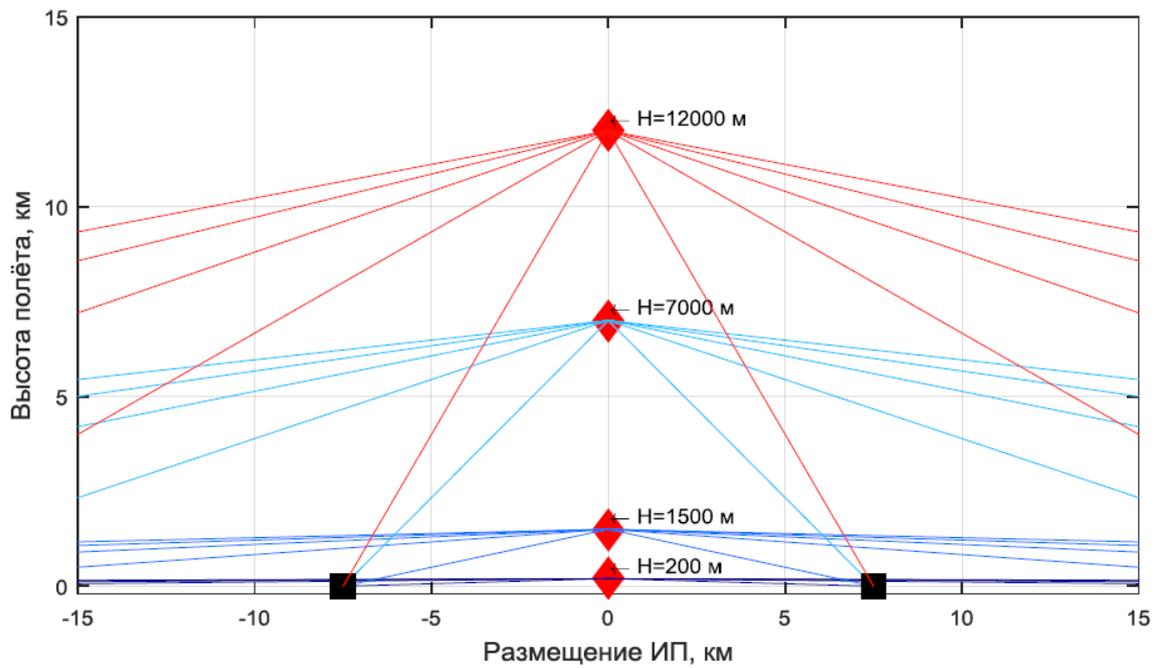


Рисунок 4 – Обоснование эффективности применения помехоустойчивых ЦААР на БЛА

Таким образом, ЦААР подавляет более  $N-1$  помех, подавляя целый сектор. Более детальные исследования влияния распределенных источников помех на цифровые адаптивные антенные решетки в настоящее время представляют актуальную научно-техническую задачу.

Мещеряков А.Л., начальник сектора ЗАО «МНИТИ»

## **Наземные комплексы информационного обеспечения видеоаэросъёмки (НКИО ВА)**

### **1. Передвижной пункт управления (ППУ)**

С 2000 г. ЗАО «МНИТИ» разрабатывает и изготавливает быстро развёртываемые автономно функционирующие мобильные телевизионные комплексы различного назначения.

В 2011 году ЗАО (МНИТИ) был разработан, изготовлен, испытан и передан в эксплуатацию передвижной пункт управления, выполненный на базе автомобиля высокой проходимости Infiniti QX56. ППУ показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – ППУ

Комплекс ППУ предназначен для обеспечения специалистов необходимой оперативной видеоинформацией с места событий для выработки, принятия и осуществления своевременных эффективных действий.

Комплекс ППУ может применяться следующим образом:

при проведении специальных мероприятий по борьбе с терроризмом, в период возникновения, ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечения правового режима чрезвычайного положения;

при обеспечении охраны общественного порядка, во время проведения массовых, общественных и праздничных мероприятий.

Сбор и отображение видеоинформации осуществляется с использованием следующих технических средств:

- видеокамеры, установленной на вертолёте и работающей под управлением изделия (приём видеосигнала с вертолёта осуществляется по

- цифровой радиолинии связи с модуляцией QPSK с использованием антенн скрытно установленных в багажнике на крыше изделия);

- компактных беспроводных носимых комплектов видеонаблюдения, в том числе скрытой видеосъёмки, выполненных на основе нательных операторских жилетов, которые обеспечивают беспроводную цифровую передачу видеоизображения на расстояние до 400...500 метров;

- купольной видеокамеры наружного видеонаблюдения, расположенной на телескопической мачте и управляемой с рабочего места оператора;

- видеосервера с качеством записи 720x576 точек при 25 к/секунду, обеспечивающего одновременную запись и воспроизведение любого источника видеосигнала;

- автомобильного видеорегистратора, обеспечивающего запись видеoinформации, в том числе при движении автомобиля.

Для отображения видеoinформации используются видеомониторы, расположенные в стойке на рабочих местах оператора и руководителя в салоне автомобиля. С целью анализа специалистами видеoinформации на местах событий в состав изделия включены выносной видеомонитор диагональю 42 дюйма, ноутбук для управления видеосервером изделия и подачи видеoinформации на выносной видеомонитор.

Схема применения комплекса приведена на рисунке 2.

Принятый ППУ в реальном времени по скоростной (до 3,7 Мб/сек) широкополосной цифровой радиолинии с борта вертолёта телевизионный сигнал и видеосигнал с других источников архивируются и передаются в ситуационный центр для оценки событий по результатам видеомониторинга и принятия соответствующих решений.

Передача видеoinформации в ситуационный центр осуществляется в режиме реального времени по следующим каналам связи:

- беспроводная связь широкополосного доступа стандарта IEEE 802.11 на расстоянии до 10 километров при условии прямой видимости;
- спутниковая связь Inmarsat BGAN.

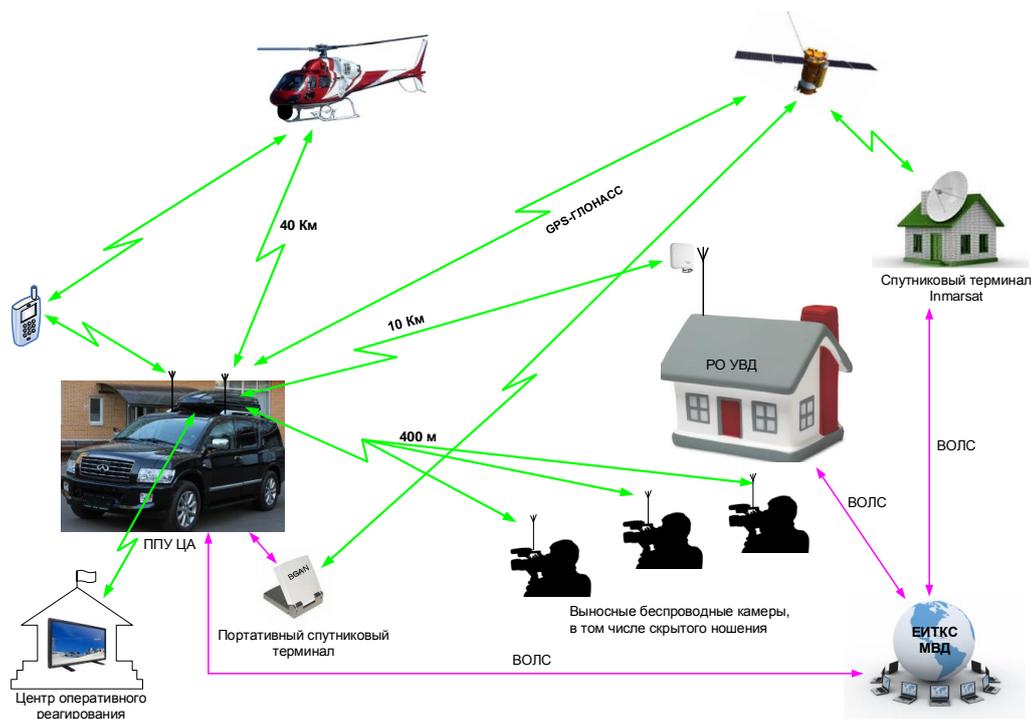


Рисунок 2 – Применение комплекса ППУ

В качестве средств связи и контроля эфира в изделии используются:

- средства УКВ-радиосвязи диапазонов (136-174) МГц, (403-470) МГц, предназначенные для обеспечения оперативного взаимодействия ППУ и вертолёта;
- сканирующий радиоприёмник для мониторинга радиоэфира с диапазоном сканирования до 5,5 ГГц.

Комплекс оснащён навигационными системами ГЛОНАСС и GPS.

Электропитание аппаратуры изделия осуществляется либо от внешней электросети 220В, либо от выносного бензогенератора мощностью 3,0 кВА (8 часов работы), либо от бортовой сети автомобиля.

Испытания изделия проводились на одном из подмосковных аэродромов. В ходе испытаний экспериментально была проверена дальность приема телевизионного сигнала с камеры вертолета по цифровой радиолнии, а также работа радиосвязи. Работа изделия была проверена как в развернутом стационарном положении, так и в движении. Проведение испытаний ППУ показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Испытания изделия ППУ

В мае 2012 года изделие демонстрировалось на московском международном салоне «Комплексная Безопасность 2012», где получило высокую оценку специалистов-посетителей выставки и было отмечено дипломом.

В настоящее время опытный образец изделия успешно эксплуатируется.

## 2. Наземный комплекс информационного обеспечения видеоаэросъемки (НКИО ВА) «Скорпион»

В инициативном порядке в рамках внутреннего заказа в 2015 году ЗАО «МНИТИ» был разработан, изготовлен и испытан НКИО ВА, выполненный на базе специального автомобиля высокой проходимости «Скорпион-2М». Внешний вид НКИО ВА «Скорпион» показан на рисунке 4.

Решаемые задачи:

НКИО ВА «Скорпион» предназначен для сбора, регистрации и передачи по различным каналам связи видеоинформации Full HD качества, полученной от различных источников из состава комплекса. В том числе от следующих источников видеоинформации: с борта вертолета; от операторов беспроводных комплектов тележурналистики; от малогабаритного беспилотного летательного аппарата; от системы спутникового ТВ вещания (при трансляции подготовленных, либо ретрансляции спутниковых ТВ программ). А также комплекс предназначен для обеспечения звукового вещания аудиоинформации на большие расстояния.



Рисунок 4 – НКИО ВА «Скорпион»

Состав комплекса:

- широкополосная цифровая радиолиния (приёмная часть) для связи с вертолетом;
  - купольная системы видеонаблюдения для охраны периметра;
  - беспроводные комплекты тележурналистики (2 шт), выполненные в форме операторских жилетов;
  - спутниковое приемо-передающее оборудование;
  - телевизионное передающее устройство;
  - оборудование звукового вещания;
  - комплект антенно-фидерных устройств;
  - аппаратура радиосвязи;
  - оборудование контроля и управления;
  - навигационное оборудование;
  - оборудование электропитания;
  - оборудование беспилотного летательного аппарата (привязного, либо автономного) с камерой видеонаблюдения на гиростабилизированной платформе;
  - спец. автомобиль высокой проходимости «Скорпион-2М».
- Рабочие места операторов комплекса показаны на рисунке 5.



Рисунок 5 – Рабочие места операторов комплекса

#### Основные ТТХ:

Дальность действия радиолинии комплектов тележурналистики (при обеспечении прямой видимости) – до 1000 м. Видеоинформация передаётся в формате Full HD;

Дальность действия вертолётной цифровой радиолинии – до 40 км при условии прямой видимости. Видеоинформация передаётся в формате Full HD;

Дальность звукового вещания – до 1 км;

Уровень звукового давления на расстоянии 1 метра от излучателя – 140 дБ;

Мощность передающего РВ-устройства УКВ диапазона – 500 Вт (один канал).

Мощность передающего ТВ-устройства ДМВ диапазона – 100 Вт (2 канала: открытый или закрытый – служебный);

Дальность ТВ, РВ вещания передающих ТВ, РВ устройств – до 12 км.

Высота подъёма привязного беспилотного летательного аппарата – до 150 м;

Дальность управления автономным беспилотным летательным аппаратом – до 10 км.

Опытный образец изделия НКИО ВА «Скорпион» приведён на рисунке 6.



Рисунок 6 – Опытный образец НКIU BA «Скорпион»

Испытания опытного образца изделия НКIU BA «Скорпион» проводились на всероссийском этапе международных соревнований лётчиков «Авиадартс 2015» на полигоне «Погоново». Испытания комплекса НКIU BA «Скорпион» показаны на рисунке 7.



Рисунок 7 – Испытания комплекса НКIU BA «Скорпион»

Технические решения, применённые в представленных наземных комплексах, позволяют использовать их как в стационарных условиях, так и в движении.

При этом переданный с борта вертолёт (либо с беспилотного летательного аппарата) на наземный комплекс сигнал видеоаэросъёмки с QPSK модуляцией принимается четырьмя независимыми пространственно разнесёнными радиоканалами. Затем методом дифференциально-взвешенного суммирования компенсируется многолучевость, переотражения и интерференционные затухания сигнала, возникающие при распространении. При этом стабильный помехоустойчивый приём видеосигнала в условиях городской застройки и при движении наземного комплекса обеспечивается за счёт использования в изделии широкополосной системы связи (ШПСС) с пространственно разнесённым приёмом на установленные в верхней части транспортной базы антенны.

На рисунке 8 показана антенна радиоканала и её частотная характеристика КСВН.

Выбор системы связи для радиолинии между вертолёт и наземным комплексом был сделан в пользу ШПСС. Это обусловлено одним из основных достоинств систем связи с широкополосным сигналом (ШПС), обеспечивающих надёжный приём информации при воздействии мощных помех, когда отношение сигнал-помеха на входе приемника может быть много меньше единицы.

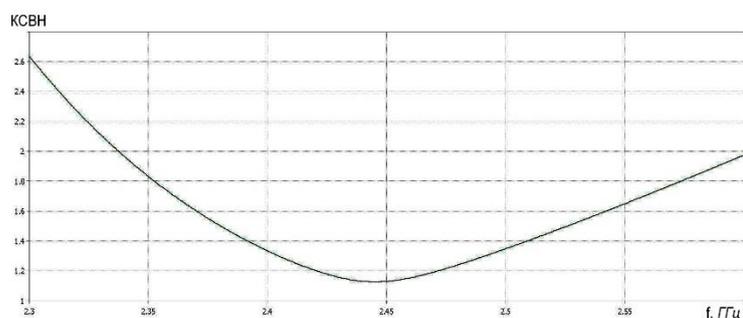


Рисунок 8 – Приемная антенна радиоканала

Следует отметить, что ШПС и широкополосные системы связи получают распространение в специальных комплексах так как:

- обеспечивают высокую помехоустойчивость связи;
- допускают одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот;
- позволяют создавать системы связи с повышенной скрытностью;

- обеспечивают электромагнитную совместимость (ЭМС) ШПСС с узкополосными системами радиосвязи и радиовещания, системами телевизионного вещания;

- обеспечивают лучшее использование спектра частот на ограниченной территории по сравнению с узкополосными системами связи.

Применение в представленных комплексах широкополосной цифровой радиолинии с пространственно разнесённым приёмом позволило обеспечить электромагнитную совместимость при использовании в комплексе большого числа систем связи, а также обеспечить устойчивый приём цифрового телевизионного сигнала на расстоянии до 40 км при высоте полёта вертолётa 250...300 м (при условии прямой видимости между вертолётom и наземным комплексом).

#### Литература

1. Афанасьев В.П., Гурвиц В.И. и др. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Под ред. В.Б. Пестрякова. – М., «Сов. Радио», 1973, 424с.

2. Лёзин Ю.С. Введение в теорию радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1985, 384с.

3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985, 384с.

#### Автор

Мещеряков Александр Леонидович, начальник сектора ЗАО «МНИТИ», 105094, г. Москва, ул. Гольяновская, 7а, стр. 1, тел. +7(499)763-44-56, e-mail: mniti@mniti.ru

Михайленко С.Б., к.т.н., старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Проценко В.В., младший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Штанькова Н.В., младший научный сотрудник ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Подкорытов А.Н., начальник группы в/ч 41495;

Мальцев М.А., студент МИКТ (г. Воронеж)

### **Математическая модель ограничителя угла тангажа летательного аппарата с порогом, управляемым нечетким контроллером**

Управление полетом летательного аппарата (ЛА) в вертикальной плоскости осуществляется, как правило, с использованием канала продольного управления (канала тангажа). При этом для эффективного и безопасного пилотирования ЛА необходимо ограничивать предельные значения параметров полета. В настоящее время на самолетах используются автоматические контуры ограничения высоты полета и угла атаки [1]. К числу параметров, подлежащих автоматическому ограничению, следует также отнести углы скольжения, крена, тангажа, перегрузку, скоростной напор, число  $M$  и др.

Ниже рассматриваются вопросы построения автоматического ограничителя угла тангажа ЛА. Применение его совместно с ограничителями угла атаки и приборной скорости обеспечит гарантированное исключение перехода ЛА в режим сваливания как в полете в условиях сильной турбулентности, так и при уходе на второй круг в условиях невозможности посадки ЛА с ходу.

Решать эту задачу будем при следующих допущениях:

рассматривается простейший контур управления тангажом (канал тангажа) ЛА с жесткой обратной связью;

считается, что угол тангажа ограничивается только в сторону возрастания углов атаки ЛА.

При указанных допущениях динамика продольного движения ЛА описывается передаточной функцией вида [1]:

$$W_{\text{прод}}(p) = \frac{K_{\omega_z}^B (T_\theta p + 1)}{T_\alpha^2 p^2 + 2\xi_\alpha T_\alpha p + 1}, \quad (1)$$

где  $K_{\omega_z}^B = -\frac{a_{mz}^{\delta_B}}{\omega_\alpha^2 T_\theta}$ ,  $K_{\omega_z}^B$  - коэффициент пропорциональности по скорости тангажа;  $a_{mz}^{\delta_B}$  - коэффициент эффективности руля высоты;

$T_\theta = -\frac{1}{a_y^\alpha}$  – постоянная времени, характеризующая маневренность ЛА в

продольной плоскости;  $T_\alpha = \frac{1}{\omega_\alpha}$ ,  $\xi_\alpha$  – период и декремент (степень)

затухания собственных (недемпфированных) короткопериодических колебаний ЛА в продольной плоскости;  $\delta_B$  – угол отклонения руля высоты;  $K_B^g, K_B^{\dot{g}}$  – коэффициент пропорциональности по отклонению руля и коэффициент жесткой обратной связи соответственно.

С использованием выражения (1) и структурной схемы, изображенной на рисунке 1, в среде пакетов прикладных программ MATLAB-Simulink были разработаны модели продольного движения ЛА без ограничителя и с ограничителем тангажа (рисунок 2).

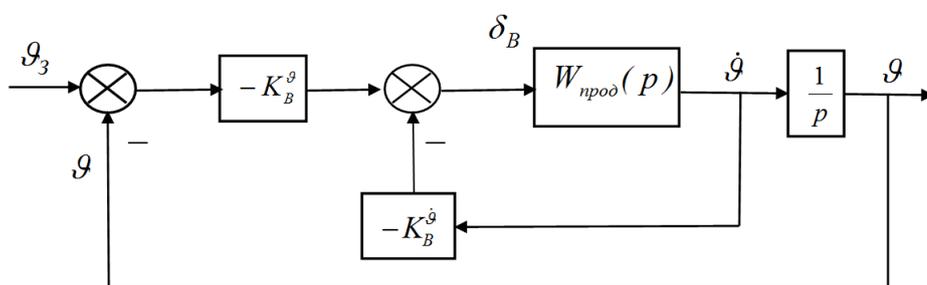


Рисунок 1 – Классическая структурная схема канала тангажа ЛА

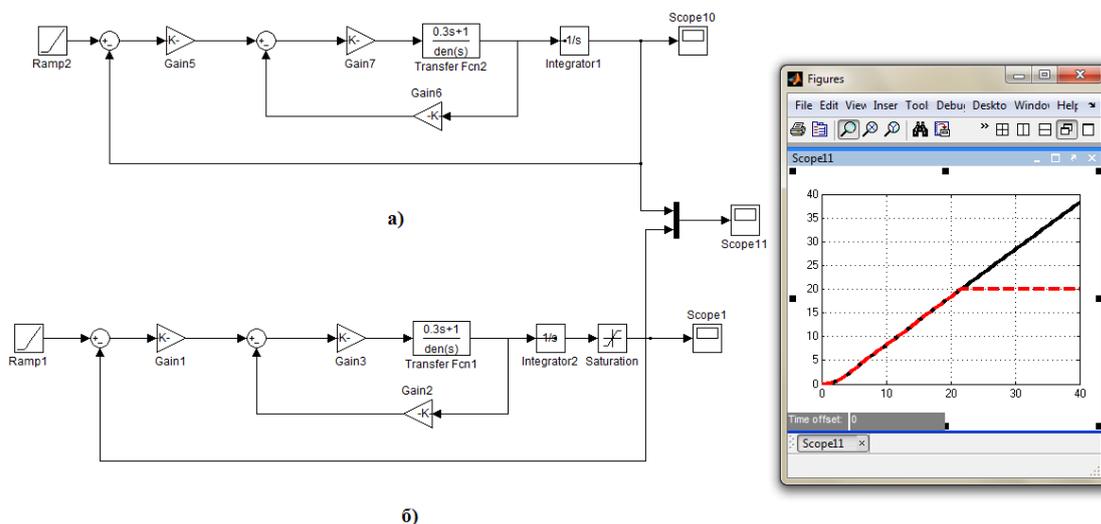


Рисунок 2 – Модель продольного движения ЛА без ограничителя (2а)) и с ограничителем тангажа (2б))

Переходная характеристика (ПХ) модели с ограничителем тангажа (в линейном режиме) полностью идентична переходной характеристике модели без ограничителя и имеет вид, представленный

на рисунке 3. Близкими переходными характеристиками обладают модели продольного движения ЛА, рассматриваемые в [1].

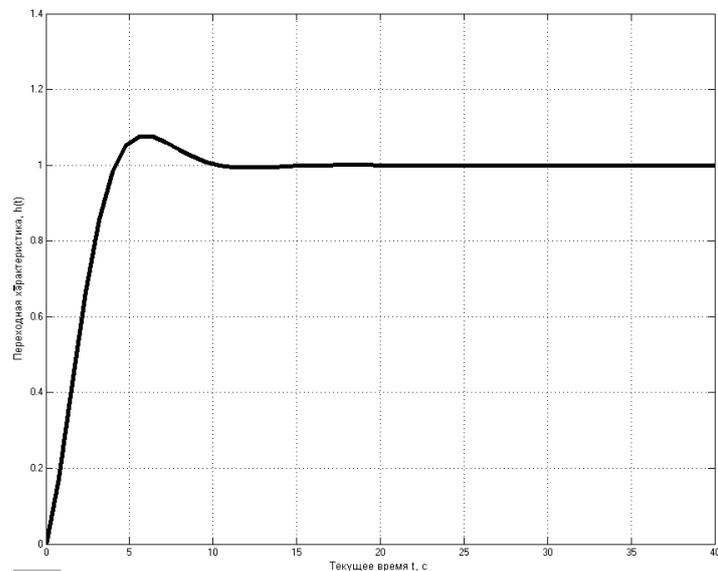


Рисунок 3 – Переходная характеристика канала продольного движения ЛА

На практике для реализации процедуры ограничения могут применяться как классические средства аналоговой и цифровой техники и коммутирующие устройства [1], так и нечеткие контроллеры [3-7], обеспечивающие автоматическую настройку (адаптацию) порогов ограничения к новым условиям полета. Ниже рассмотрено использование нечеткого контроллера (НК) для адаптивного управления порогом.

Модель продольного движения ЛА с ограничителем тангажа, управляемым НК, в соответствии с текущими значениями высоты и скорости полета ЛА, разработанная в среде расширений пакетов *Simulink* и *Fuzzy Logic Tools* программы *MATLAB*, показана на рисунке 4.

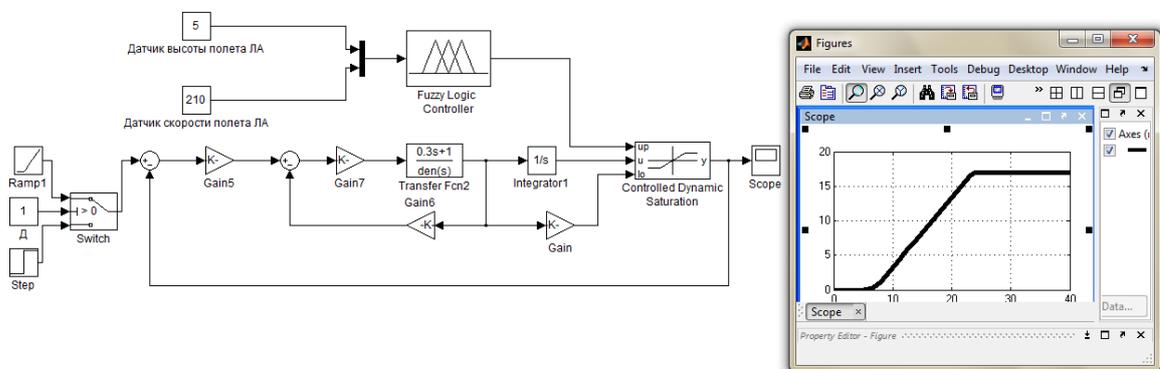


Рисунок 4 – Модель продольного движения ЛА с ограничителем

На рисунке 4 блоки *Step* и *Ramp1* задают единичное ступенчатое и линейно-нарастающее входные воздействия (заданный угол тангажа  $\vartheta_3$ ). Блоки *Gain*, *Transfer Fcn2*, *Integrator1* представляют собой динамические звенья канала продольного движения ЛА по тангажу. Коэффициенты усиления блоков *Gain5*- *Gain7*, соответствующие передаточным числам контура продольного движения, подобраны так, чтобы обеспечить приемлемое качество регулирования и вид ПХ для типового режима полета ЛА [1]. Значения этих коэффициентов равны  $Gain5=-0.7$ ,  $Gain6=-0.5$ ,  $Gain7=-1.5$ . Постоянные времени  $T_\theta=0.3$ ,  $T_\alpha=0.22$ . В модели роль регулятора порога ограничения тангажа выполняют нечеткий контроллер (*Fuzzy Logic Controller*) и управляемый ограничитель (*Controlled Dynamic Saturation*), формирующие допустимые значения сигнала тангажа.

Модель разрабатывалась с целью обеспечения возможности автоматической подстройки (адаптации) значений порога ограничения сигналов тангажа ЛА в соответствии с изменившимися условиями полета для обеспечения безопасности полета. Не останавливаясь на методологии и процессе разработки моделей на основе нечеткой логики, подробно изложенных в работах [2-7], рассмотрим только их представление в интерфейсе расширений *Simulink* и *Fuzzy Logic Toolbox* программы *MATLAB*.

Фрагмент интерфейса расширения *Simulink* программы *MATLAB* с разработанной моделью продольного движения летательного аппарата с ограничителем угла тангажа, управляемым нечетким контроллером приведен на рисунке 5.

Рассмотрим более подробно нечеткий контроллер. Основная функция, возлагаемая на него – формирование выходного значения управления в зависимости от текущих координат системы. Входной информацией НК являются сигналы датчиков высоты и скорости полета, а выходными координатами – значения порога ограничения сигналов тангажа ЛА.

При обработке входной информации в НК выполнялись следующие процедуры [2]: фаззификация текущих значений входных переменных; формирование базы правил НК для реализации нечеткого вывода; выполнение нечёткого логического вывода (вычисление лингвистических значений выходных переменных на основании входных лингвистических значений и с использованием базы правил контроллера); дефаззификация, то есть вычисление "чётких" значений управляющих параметров.

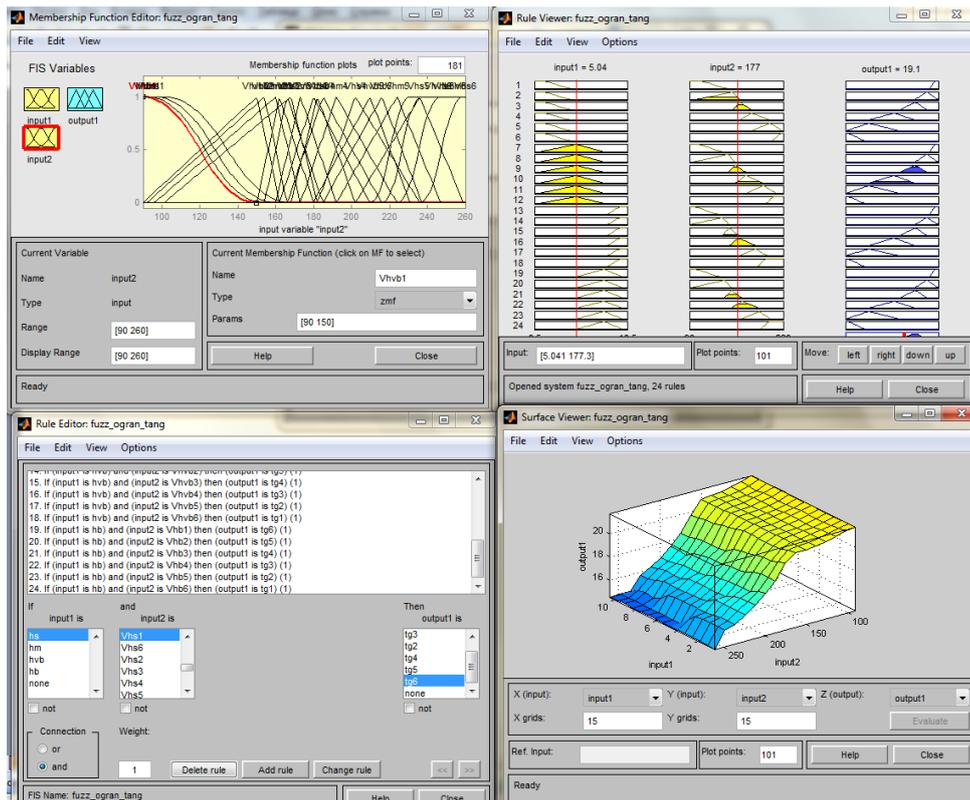


Рисунок 5 – Фрагмент интерфейса пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox

При разработке базы правил НК решались задачи выбора входных лингвистических переменных, назначения для каждой из них набора лингвистических значений (термов) и выбор для каждого терма соответствующего (аппроксимирующего) нечеткого множества.

Для решения перечисленных выше задач использовался нечёткий контроллер с двумя входами и одним выходом (рисунки 4-5). Алгоритм управления был реализован в интерактивном режиме с использованием графических средств пакета *Fuzzy Logic Toolbox*. Моделирование выполнялось в системе нечеткого вывода Мамдани.

Для лингвистического описания 1-й входной переменной выбраны четыре терма, из них один  $z$ -образный, один  $s$ -образный и два треугольных. Вторая входная переменная описывается двадцатью четырьмя термами, из которых первые четыре –  $z$ -образные, последние четыре –  $s$ -образные, а остальные – треугольные (рисунок 5). Для выходной переменной выбраны шесть термов, из которых первый –  $z$ -образный, последний –  $s$ -образный, а остальные – треугольные.

При отладке модели с нечетким контроллером использовался просмотрщик правил *RuleViewer* и редактор функций принадлежности *MFE*. Для практического решения задачи адаптации порогов ограничения к изменению высоты и скорости полета ЛА в качестве НК могут быть использованы нечеткие процессоры типа *68HC12* или

SAE81 C99, широко применяемые в современных системах с интеллектуальным управлением [3-7].

С использованием модели, разработанной в пакетах расширения программы *MATLAB - Simulink* и *Fuzzy Logic Toolbox* (рисунок 4), были исследованы ПХ замкнутой следящей системы канала продольного движения летательного аппарата с ограничителем угла тангажа, управляемым нечетким контроллером (в линейном режиме), и сигналы на выходе канала при различной высоте и скорости полета ЛА.

При моделировании было принято, что для гипотетического ЛА должно выполняться ограничение угла тангажа в зависимости от значений числа  $M$  полета в соответствии с таблицей 1. Кроме того, считалось, что ограничиваются только положительные углы тангажа и учитывалась зависимость скорости звука от высоты полета ЛА.

Таблица 1 – Ограничения по углам тангажа, в зависимости от числа  $M$  полета

Число $M$	0,3	0,5	0,54	0,6	0,7	0,77
$\vartheta_{\text{доп}}$ , град	22	21	20	18,5	16	14

Графики сигнала на выходе канала при линейно-нарастающем входном воздействии и включенном нечетком ограничителе тангажа, полученные для различных значений скорости полета (числа  $M$ ) и высоте полета равной 5000 м представлены на рисунке 6.

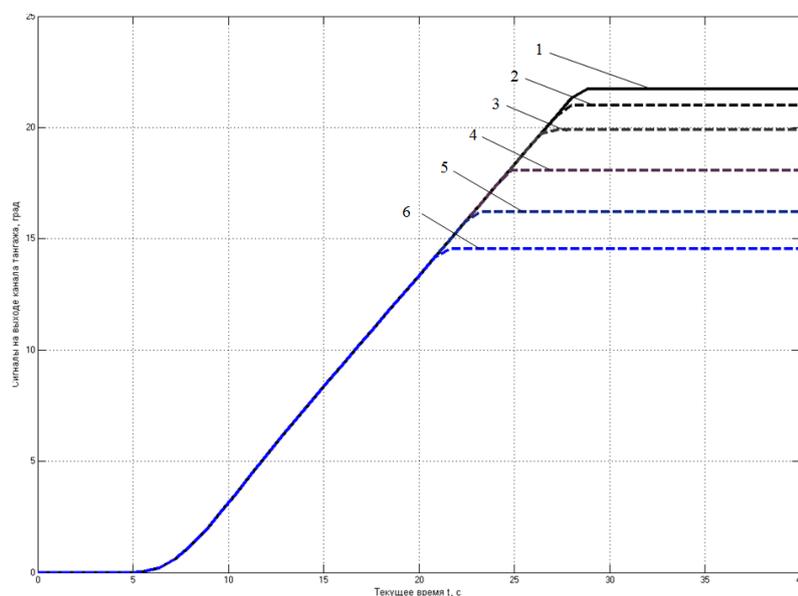


Рисунок 6 – Графики сигнала на выходе канала тангажа ЛА при линейно-нарастающем входном воздействии для различных значений скорости полета (числа  $M$ )

На рисунке 6 кривая с номером 1 соответствует скорости полета, равной 96 м/с, с номером 2 – 160 м/с, 3 – 173 м/с, 4 – 192 м/с, 5 – 224 м/с и 6 – 247 м/с.

Анализ графиков показывает, что при изменении условий полета ЛА нечеткий контроллер обеспечивает автоматическое изменение порога ограничения углов тангажа, предотвращая выход ЛА на опасные режимы полета. Можно показать, что таким же образом НК функционирует и на других высотах полета ЛА.

Таким образом, разработана математическая модель продольного движения летательного аппарата с ограничителем угла тангажа, управляемым нечетким контроллером и показана возможность его применения для повышения безопасности полета ЛА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Аслаян А.Э. Системы автоматического управления полетом летательных аппаратов. Часть 1. – К.: КВВАИУ, 1984, с. 137, 435 с., ил.

2 Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-736 с: ил.

3 Волобуев М.Ф., Демчук В.А., Замыслов М.А., Михайленко С.Б. Применение методов нечеткой логики для автоматизированного распознавания начальных стадий возникновения летных ситуаций, опасных для пилотирования летательного аппарата. Материалы XII МНТК «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Том 2.- Воронеж.- 2011.-С. 531-539.

4 Волобуев М.Ф., Демчук В.А., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Управление резервированной с помощью мажоритарных элементов системой с применением методов нечеткой логики // Информационные технологии.- 2012.- №12 (196).

5 Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Математическая модель канала управления высотой полета летательного аппарата с элементами нечеткой логики и ее сравнение с классической моделью//ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2016.- №8.

6 Агеев А.М., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Статистическая имитационная модель корректора высоты полета летательного аппарата с элементами нечеткой логики //ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2016.- №12.

7 Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Математическая модель контура стабилизации скорости полета летательного аппарата с адаптивным управлением пропорционально-дифференцирующим регулятором на основе нечеткой логики //ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2017.- №2.

Никоненко А.В., начальник научно-исследовательского испытательного отдела ГНИИЦ РТ МО РФ (г. Москва);

Антонов И.К., к.т.н., директор по информационным технологиям ООО «Библио-Глобус-Оператор» (г. Москва)

### **Диаграмма направленности антенной системы многолучевой радиолокационной станции**

Рассмотрен вариант структуры антенной системы многолучевой радиолокационной станции, входящей в состав охранного комплекса какого-либо объекта. Приведены примеры формируемого такой системой веера лучей диаграммы направленности антенны.

Важной задачей радиолокационной станции (РЛС), входящей в состав охранного комплекса является обнаружение, распознавание и измерение параметров быстро маневрирующих малозаметных воздушных целей типа «беспилотный летательный аппарат». Для надежного автосопровождения таких целей без пропусков во времени необходима быстрая смена кадра в широкой зоне обзора.

Одним из методов решения этой задачи является использование РЛС с многолучевыми приемными антеннами [1], использующими голографический принцип обработки сигналов [2]. Особенностью многолучевой РЛС, определяющей ее потенциальные характеристики при обнаружении низкоскоростных малоразмерных целей, является возможность обеспечить длительное когерентное накопление отраженного от цели сигнала при быстром, составляющем единицы секунд, времени обзора широкой контролируемой зоны.

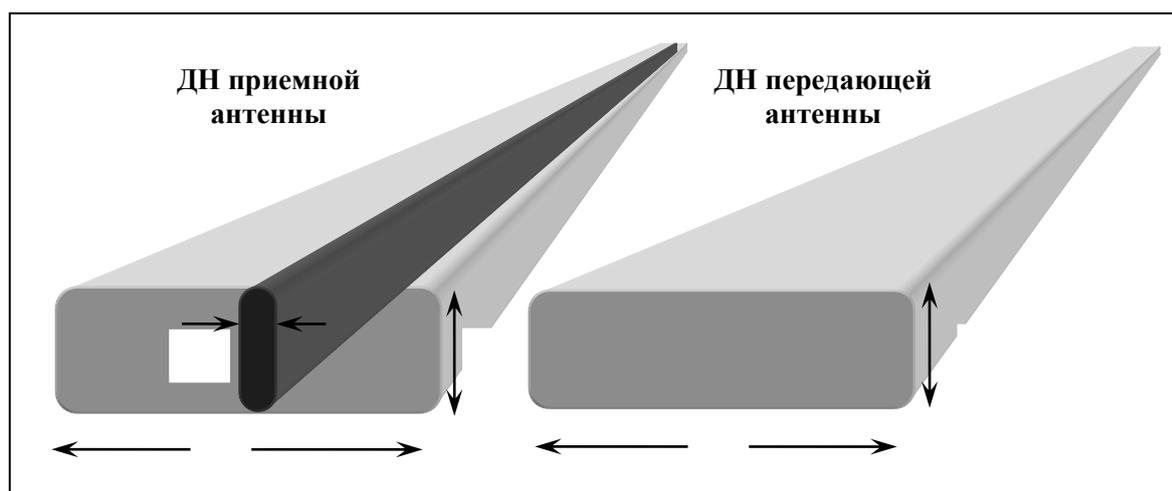


Рисунок 1 – Принцип обзора пространства многолучевой РЛС

Обзор пространства в многолучевой РЛС, принцип которого показан на Рисунок1, выполняется состоящей из  $K$  узких лучей приемной диаграммой направленности (ДН). Каждый из лучей имеет угловые размеры в азимутальной и угломестной плоскостях  $\Theta_x \times \Theta_y \sim 3^\circ \times 10^\circ$ , совокупность  $K$  лучей образует зону одновременного обзора шириной  $\Theta_{xz}$ . Передающая антенна одновременно облучает зону с угловыми размерами  $\Theta_{xz} \times \Theta_y$ . Такой метод позволяет сократить время обзора зоны в  $K$  раз по сравнению с однолучевым радиолокатором.

Один из вариантов технической реализации антенной системы для многолучевой охранной РЛС при работе в диапазоне излучения зондирующего сигнала  $\lambda = 10$  см показан на рисунке 2.

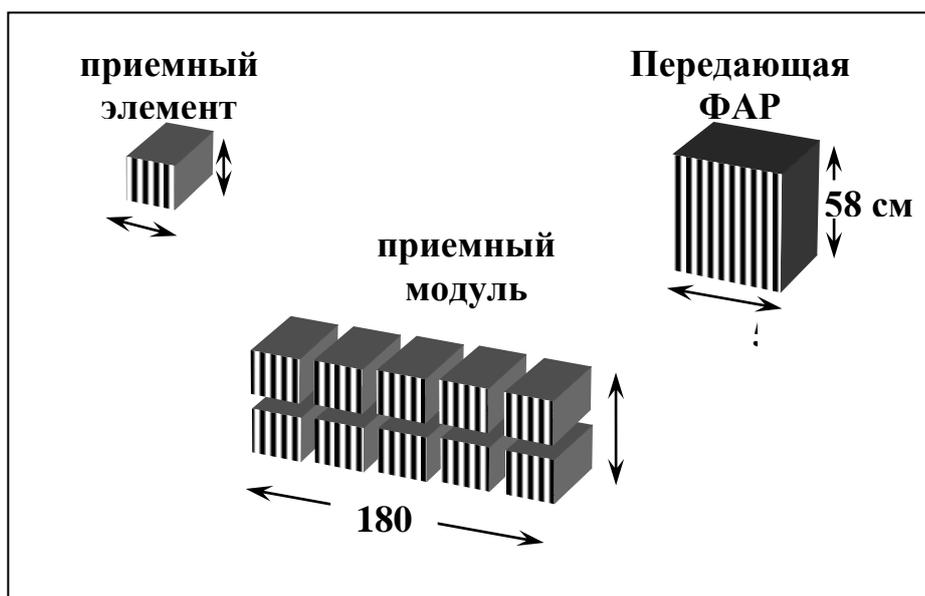


Рисунок 2 – Параметры антенных систем многолучевой РЛС

В рассматриваемом примере структуры РЛС приемная антенная решетка включает в себя не менее двух горизонтальных линеек приемных элементов для сканирования в угломестной плоскости, каждая линейка состоит из  $K$  приемных элементов. Передатчик нагружен на фазированную антенную решетку размером  $5 \text{ см} \times 58 \text{ см}$  (здесь и везде далее приводится эффективный размер антенны, рассчитываемый как  $d = \lambda/\Theta$ ). Приемная антенна содержит две линейки антенных элементов по 36 элементов в каждой, расположенных с шагом 5 см. Общий размер приемной антенны  $180 \text{ см} \times 58 \text{ см}$ .

Выполним расчет суммарной ДН приемо-передающей антенной системы в азимутальной (горизонтальной) плоскости. Расчеты выполняются в линейном приближении относительно углов отклонения лучей, когда справедливо допущение  $\sin \theta = \theta$ . В пределах углов  $\pm 45^\circ$  такое моделирование обеспечивает точность, достаточную для

достоверной оценки ширины главного лепестка ДН, уровня боковых лепестков и положения их нулей, структуры веера диаграмм и его угловой однозначности.

ДН  $\gamma(\theta)$  вычисляются на базе методов теории пространственных частот как преобразование Фурье от распределения модулирующей функции  $U_a(x)$  в раскрыве антенны:

$$\gamma(\theta) = \tilde{F}\{U_a(x)\} = \int U_a(x) \exp(-jk_\lambda \theta x) dx, \quad (1)$$

где  $k_\lambda \theta \approx k_\lambda x_a / R = \omega_x$  – пространственная частота принимаемого сигнала в раскрыве антенны, связанного с координатой  $x$ .

Для графического представления и анализа характеристик антенны используется нормированная к своему максимуму диаграмма направленности

$$\Gamma(\theta) = \gamma(\theta) / \gamma_{\max}(\theta). \quad (2)$$

Ниже приводятся ДН для выбранных структуры и параметров антенной системы. Изображения диаграмм приведены в 3D-формате и в плоскостной проекции.

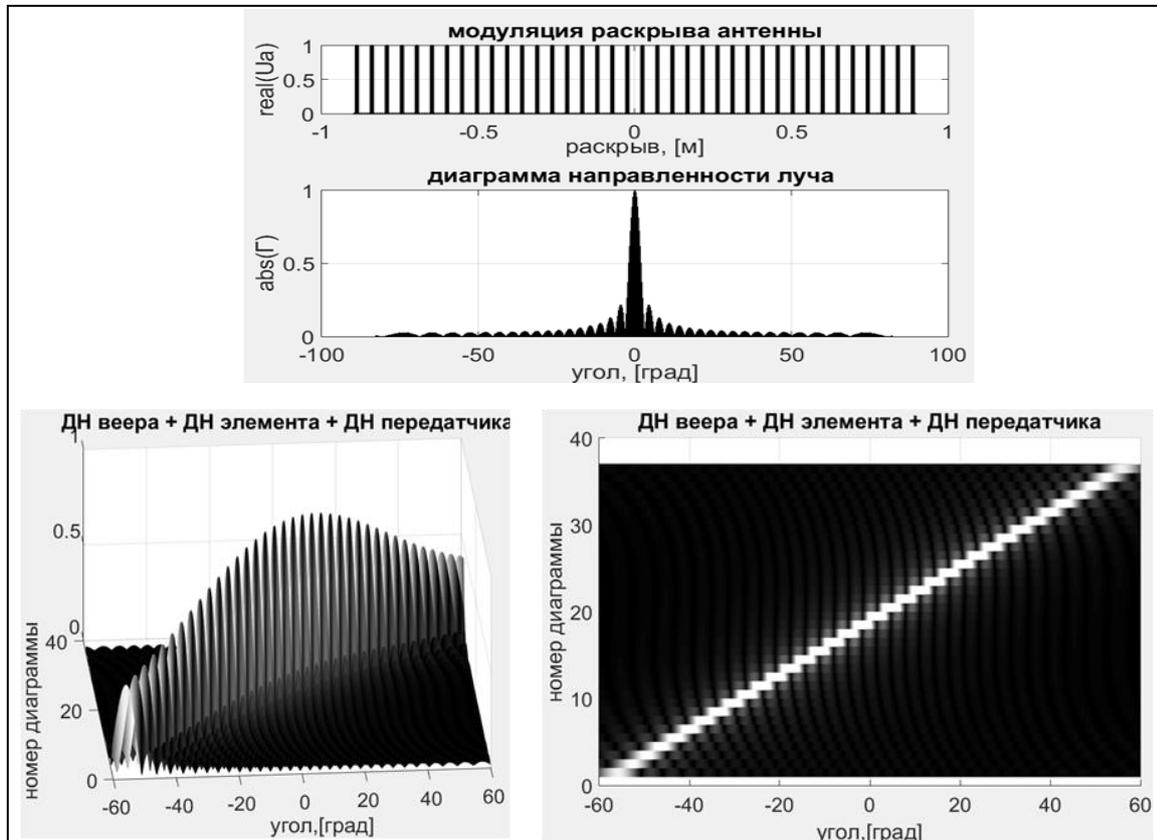


Рисунок 3 – Диаграммы направленности многолучевой РЛС без аподизации

На рисунке 3 изображены ДН центрального луча в веере и веер из 36 лучей ДН при эквидистантном их расположении с шагом  $\Delta_\theta = 3,2^\circ$ .

Опорная функция для каждого  $n$ -го луча веера имеет вид

$$U_{an}(x) = \exp(-jk_\lambda n\Delta_\theta x), \quad (3)$$

где  $n = (-K/2, K/2)$ .

Веер перекрывает зону постоянного обзора шириной  $\pm 60^\circ$ . Ширина центрального в веере луча составляет  $3,2^\circ$ , к краю зоны обзора ширина луча несколько возрастает.

Для подавления уровня боковых лепестков лучей ДН используется «аподизация» в раскрыве антенны – умножение принимаемого пространственного сигнала на опорную функцию  $U_{a0n}(x) = U_{an}(x)a_n(x)$ , индивидуальную для каждого формируемого луча. Для упрощения алгоритмов обработки при формировании ДН может использоваться одинаковая для всех лучей аподизирующая функция

$$a(x) = \exp(Ax^2). \quad (4)$$

На рисунке 4 показаны ДН веера лучей при тех же условиях, что на рисунке 3, но при использовании функции вида (4) с параметром  $A = -1,5$ .

Использованная аподизация приводит к снижению уровня ближних боковых лепестков диаграммы направленности с  $-7$  дБ до  $-17$  дБ, одновременно расширяя главный луч примерно в 1,7 раза.

Параметры лучей ДН на краях зоны обзора шириной  $120^\circ$  позволяют выполнять эффективное обнаружение и разрешение воздушных целей.

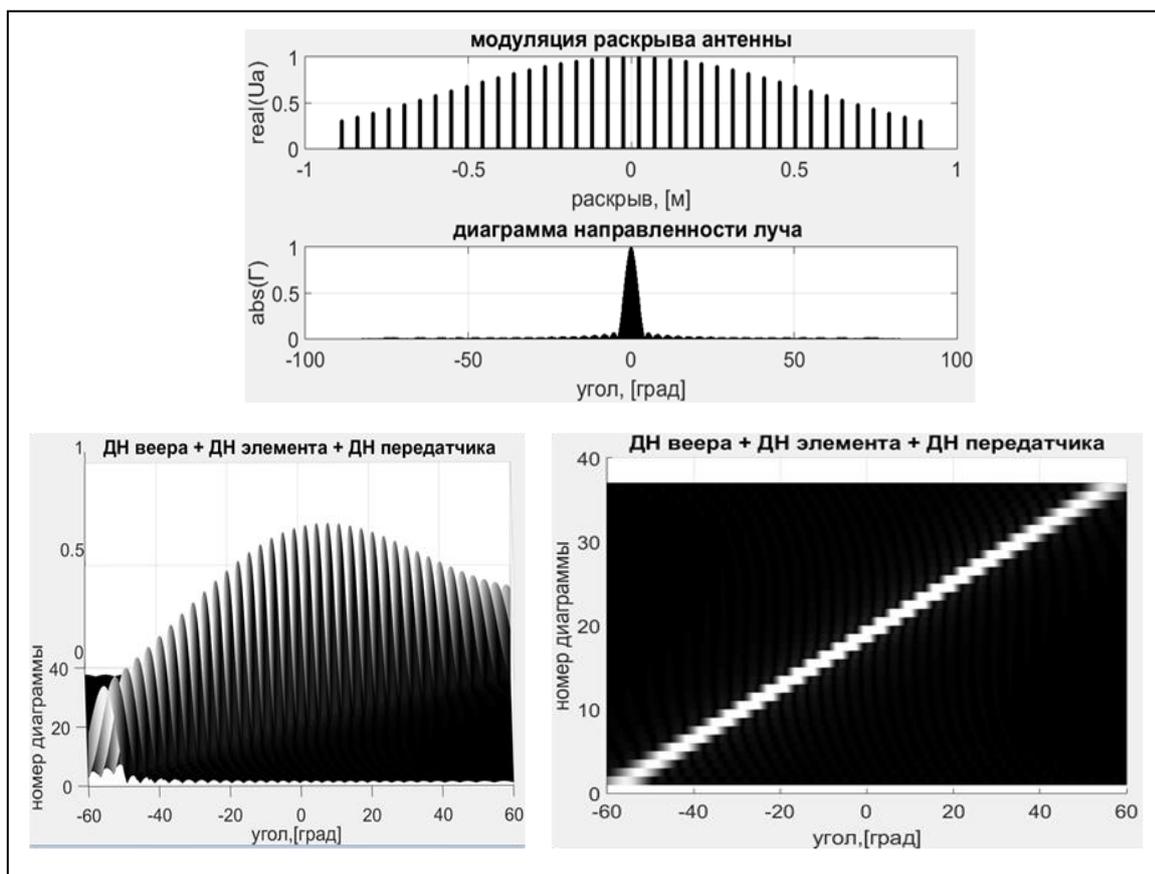


Рисунок 4 – Диаграммы направленности многолучевой РЛС при аподизации  $A = -1,5$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klare J., Saalman O. First Experimental Results with the Imaging Radar MIRA-CLE X. // EUSAR 2010, Eurogress, Aachen, Germany.
2. Лавров А.А., Никоненко А.В. Разрешающая способность голографической РЛС планового обзора при изображении движущейся поверхности // Радиотехника. 2015. № 1. С. 20-24.

Оганесян А.А., заместитель директора Московского филиала  
ОАО «ВНИИР-Прогресс»

## **Применение интегрированной системы обмена информацией в комплексах с БЛА**

Современное развитие комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) предусматривает все более сложные тактические сценарии боевого применения, предусматривающие взаимодействие в группе БЛА, обмен данными с наземными пунктами управления и наведения, а также взаимодействие с пилотируемыми летательными аппаратами.

Совокупность задач по обмену данными в интересах комплексов с БЛА целесообразно разделить на два класса:

- высокоскоростная передача изображений;
- передача данных и команд управления.

Необходимость данного разделения вытекает из фундаментального противоречия связанного с границей Шеннона между требуемой скоростью передачи информации и требуемой помехозащищенностью. Расчеты показывают, что дальность подавления канала передачи изображений (высокоскоростного канала) примерно в 10 раз больше, чем дальность подавления канала передачи данных и команд управления при одинаковой ширине полосы сигнала.

В настоящее время в странах НАТО действуют стандарты по передаче данных в интересах комплексов с БЛА:

- для передачи изображения: STANAG 4609, STANAG 7023, STANAG 4607/ AEDP-7 и др.;
- для передачи данных и команд управления: STANAG 7085, STANAG 4660 и др.;
- для совместимости наземных пунктов управления с разнотипными БЛА: STANAG 4586.

Как видно из приведенного перечня стандарты передачи изображений отделены от стандартов передачи данных и управления. Кроме того, средства связи для наземных роботизированных комплексов унифицированы со стандартами, применяемыми для комплексов с БЛА.

Анализ структуры современного бортового комплекса связи пилотируемого летательного аппарата показывает, что комплекс связи представляет собой совокупность различных систем связи. Облик перспективного комплекса связи представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Облик комплекса связи для БЛА

Основными требованиями к интегрированной системе обмена информацией комплексов с БЛА могут быть:

- помехозащищенность,
- унификация,
- криптозащищенность на сигнальном уровне (защита от имитационных помех),
- децентрализация (в сети не должно быть узлов, отключение которого приводит к невозможности функционирования системы связи),
- обратная совместимость (система связи должна иметь возможность взаимодействия с системами связи стоящими на вооружении),
- самоорганизующаяся сеть (система связи должна иметь средства автономного поддержания синхронизации между абонентами и процедуры автоматической адаптации к изменившейся помеховой обстановке, отключения отдельных узлов сети).

Одно из основных требований к интегрированной системе обмена информацией – это помехозащищенность. С учетом современного развития и распространения средств РЭБ необходимо учитывать высокую вероятность их применения в военных конфликтах любого уровня.

В настоящее время в качестве системы отвечающей всем указанным требованиям является отечественная интегрированная система обмена информацией (типа Link 16) производства АО «НПП «Полет» г. Нижний Новгород. В настоящее время система используется в пилотируемой авиации МО РФ.

В системе используется принцип псевдослучайной перестройки частоты для расширения спектра, но в отличие от других систем связи - применяется распределенное временное распределение при организации каналов связи, что обеспечивает дополнительную

скрытность и помехоустойчивость, и, главное, возможность одновременной работы в нескольких сетях (принимать и получать информацию от множества абонентов одновременно). Во многом это напоминает многозадачный режим работы в современных вычислительных машинах, когда для каждой задачи выделяются короткие временные окна, система переключается от одной задачи к другой, общий вычислительный ресурс разделяется между задачами на основе системы приоритетов. Указанные особенности позволяют утверждать, что система может обеспечить взаимодействие при групповых действиях роботизированных комплексов, в том числе и БЛА. Фактически речь идет о приложении отработанной технологии интегрированной системы обмена информацией применительно к БЛА и робототехническим комплексам в целом.

Разработанная интегрированная система обмена информацией обеспечивает:

- помехо- и крипто- защищенную цифровую связь, и обмен данными в радиосетях и радионаправлениях, в том числе с ретрансляцией;

- дальномерные измерения в автономных группах летательных аппаратов, а также до выделенных абонентов системы (пунктов привязки с известным местоположением);

- взаимное опознавание абонентов системы на основе координатно-связного принципа идентификации.

Технология на которой базируется отечественная интегрированная система обмена информацией может стать основой для перспективной системы связи для комплексов БЛА.

Осипов Ю.Н., к.в.н., профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России;

Ершов В.И., к.в.н., доцент, старший научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России

## **Математическое моделирование при войсковых испытаниях БАС**

В настоящем докладе представлены основы подхода к проведению войсковых испытаний беспилотных авиационных систем (БАС), базирующегося на выполнении математического моделирования их функционирования в процессе выполнения боевых задач. Предлагаемые решения являются аналогом сопровождающего моделирования, предложенного в работе [1] для реализации в процессе конструкторских летных испытаний беспилотных воздушных судов (БВС).

*Предметом войсковых испытаний* обычно являются некоторые характеристики, по которым судят о возможностях применения БАС при решении с их применением конкретных тактических задач. При этом выполнение тактической задачи характеризуется:

- а) исходными данными, к которым следует отнести:
  - технические параметры БАС;
  - параметры, определяющие способ и порядок выполнения задачи;
  - параметры, характеризующие условия выполнения задачи;
- б) конечными результатами, которые оцениваются:
  - вероятностью выполнения задачи;
  - максимальными потерями, ожидаемыми с заданной гарантийной вероятностью;
  - максимальными материальными затратами, также ожидаемыми с заданной гарантийной вероятностью, и другими величинами.

Тогда, в зависимости от сложившейся ситуации *предметом испытаний* могут быть:

- 1) показатели конечного результата выполнения задачи при заданных исходных данных;
- 2) значения технических характеристик БАС, необходимые для обеспечения заданного конечного результата при установленном порядке выполнения задачи в конкретных условиях;
- 3) порядок выполнения задачи БАС с существующими техническими характеристиками в конкретных условиях для обеспечения заданного или возможного наилучшего конечного результата;

4) параметры условий, при которых обеспечивается заданный конечный результат выполнения задачи при установленном порядке беспилотными авиационными системами с существующими техническими характеристиками.

Анализ задач, решаемых в ходе войсковых испытаний БАС, показывает, что параметры, являющиеся предметом испытаний, могут быть получены посредством статистической обработки результатов натурного моделирования, составляющего суть этих испытаний. Естественно, получение необходимого количества статистического материала путем проведения потребного для этого объема натуральных моделирований *нереально*.

Данную проблему при реализации рассматриваемого подхода предлагается разрешить за счет замены части натурного моделирования математическим. Возможность реализации данного подхода связана с разработкой и использованием стохастической имитационной математической модели движения БВС и функционирования других элементов БАС, к которым следует отнести:

- подсистему управления БАС и бортовым оборудованием;
- подсистему обмена информацией между БВС и наземной частью системы (бортовая и наземная аппаратура радиолинии);
- средства наземного обслуживания и обеспечения.

Кроме перечисленного, математическая модель должна включать элементы имитации принятого решения на выполнение боевой задачи, а также условий, включая действия (противодействие) противника.

Имитационная модель вместе с непосредственными показателями конечного результата, как правило, позволяет определить и конкретные параметры (и их сочетания), значения которых являются критичными для достижения заданного конечного результата.

В настоящее время в научных работах, в том числе в источниках [2-4], достаточно широко представлены математические методы, применяемые в стохастических имитационных моделях.

Распределение операций войсковых испытаний БАС между математическим и натурным моделированием целесообразно установить таким образом, что бы накопление множества статистических данных и решение оптимизационных задач (если таковые включены в систему испытаний, например, определение порядка выполнения задачи для достижения наилучшего результата) осуществлялись посредством математического моделирования, а натурное моделирование использовалось для уточнения параметров математической модели (например, характеристик распределения случайных параметров) и проверки результатов математического моделирования.

*Общая схема испытаний* может быть следующей.

1. Производится натурное моделирование (испытания) в целях уточнения характеристик (например, дисперсий) распределения случайных параметров, в дальнейшем используемых в математической модели (при необходимости).

2. Осуществляется множество реализаций стохастической имитационной математической модели для получения статистических данных.

3. Производится статистическая обработка результатов математического моделирования.

4. По результатам статистической обработки формулируются предварительные выводы относительно решаемой математической задачи.

5. Выполняется натурное моделирование (натурные испытания) функционирования БАС применительно к оптимальному решению и/или критичным значениям показателей, являющихся предметом испытаний.

6. Производится сравнение результатов математического и натурального моделирования. Формулируются итоговые выводы по испытаниям.

Не исключается обратная связь в данном алгоритме – например, возвращение к пункту 2 с уточнением характеристик распределения случайных параметров, порядка проведения расчетов и др.

Предлагаемый подход становится основным инструментом войсковых испытаний в условиях ограниченного финансирования и значительного сокращения объемов натуральных испытаний. Его реализация предусматривает значительное сокращение количества варьируемых параметров в процессе натуральных испытаний.

Использованные источники

1. А.В. Матвеев, А.А. Махуков. Сопровождающее моделирование в процессе летных испытаний беспилотных летательных аппаратов. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45.

2. <http://e-sab.narod.ru/Student/msu/4-imitation.pdf>

3. Умнов А.Е. Методы математического моделирования: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 2015. – 295 с.

4. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 543 с.

Павлов В.Ю., к.ф.-м.н., заведующий кафедрой «Информационные и сетевые технологии» Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет)»;

Терновсков В.Б., к.т.н., доцент кафедры «Информационные и сетевые технологии» Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет)»;

Филиппенков П.Н., магистрант 2 курса кафедры «Информационные и сетевые технологии» Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет)»

### **Аэромобильная коммуникационная сеть**

Предлагается концепция аэромобильной коммуникационной сети (АКС) для передачи цифровых данных в случае недоступности или неработоспособности сетей стационарной и мобильной связи. Такие условия характерны для зон стихийных бедствий, крупных техногенных аварий и катастроф, для зон боевых действий, для отдалённых неосвоенных регионов. Применение АКС целесообразно также для обеспечения устойчивой связи при проведении массовых мероприятий.

Под аэромобильной коммуникационной сетью (АКС) понимается сеть беспроводной связи, узлы и ретрансляторы которой перемещаются с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для оперативного развёртывания сети, поддержания её работы в течение заданного периода и адаптации её коммуникационных возможностей к текущим потребностям.

В качестве примера рассмотрим применение АКС в составе аварийно-спасательных подразделений МЧС при проведении спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ (СНАВР) в зоне стихийных бедствий. Тактика применения АКС в данных условиях включает решение следующих задач:

– обеспечение устойчивой мобильной связи в районе проведения СНАВР. Базовые станции мобильной связи могут быть подняты на выдвижных мачтах или на привязных аэростатах, однако при работе в зоне наводнения, в условиях пересечённой местности и/или многоэтажной застройки они не смогут обеспечить сплошное покрытие зоны проведения СНАВР. Для обеспечения покрытия мобильной связью больших площадей целесообразно использовать аэромобильные базовые станции на борту БЛА самолётного типа, способных длительное время барражировать над зоной проведения СНАВР;

– поиск пострадавших на открытой местности, внутри зданий и под завалами. Возможность обнаружения сигналов мобильных устройств, которыми пострадавшие способны воспользоваться, может

быть сильно снижена из-за экранирования сигнала местными предметами, зданиями и их обломками. Для уверенного обнаружения пострадавших и точной геопривязки их координат целесообразно использовать низколетящие мультикоптеры, несущие ретрансляторы сигнала и устройства геопозиционирования;

- геопривязка обнаруженных мобильных устройств и наведение спасательных сил и средств на места нахождения пострадавших. При обнаружении сигнала мультикоптер может зависнуть над местом нахождения пострадавших или приземлиться рядом с ним, обеспечивая канал связи и геопривязку;

- передача голосовых и цифровых данных для поддержки работы специалистов. Коммуникационная сеть, составленная из аэромобильных базовых станций и ретрансляторов, обеспечит цифровую связь для координации специалистов, проводящих СНАВР, и консультирования их;

- адаптация состава и структуры АКС к текущим потребностям спасательных подразделений за счёт изменения состава БЛА, их расположения и маршрутов полета, оперативной замены БЛА, вышедших из строя или нуждающихся в заправке и подзарядке, а также за счёт установки на местных высотах автономных базовых станций, доставляемых с помощью БЛА вертолётного типа;

- буферизация информации при перебоях связи.

Для решения вышеперечисленных задач АКС должна включать в себя следующие информационно-коммуникационные компоненты:

- центр управления АКС;
- шлюз в глобальную сеть;
- стационарные базовые станции мобильной связи;
- аэромобильные базовые станции мобильной связи;
- аэромобильные ретрансляторы радиосигналов;
- системы геопозиционирования;
- специализированное программное обеспечение.

В составе группировки носителей компонентов АКС целесообразно иметь:

- привязные аэростаты в качестве носителей стационарных базовых станций;

- БЛА самолётного типа в качестве носителей мобильных базовых станций, обеспечивающих покрытие мобильной связью всего района проведения СНАВР за счёт барражирования над ним по замкнутым маршрутам;

- БЛА вертолётного типа для доставки в назначенные точки аппаратуры для передачи и обработки сигналов (как, впрочем, и другого необходимого груза);

– мультикоптеры в качестве носители мобильных ретрансляторов и точек доступа, систем обнаружения сигналов мобильных устройств и их геопривязки.

В области информационных технологий для реализации концепции АКС требуется решить следующие задачи:

– разработка и адаптация коммуникационного оборудования к установке на БЛА;

– разработка программного обеспечения бортового коммуникационного оборудования для решения задач поиска мобильных устройств, их геопривязки, ретрансляции слабых сигналов, буферизации сигналов;

– разработка программного обеспечения управления потоками данных в коммуникационной сети;

– разработка программного обеспечения управления самоорганизацией аэромобильной сети.

В качестве примера решения таких задач можно привести разработку алгоритмов адаптации АКС к резкому росту трафика в сети. Если сеть не справляется с резко возросшим трафиком, то эффективность проведения ШНАВР снижается вплоть до полной остановки ряда работ. В то же время, информационные потоки в зоне ШНАВР, их временное и пространственное распределение трудно предсказать. Весьма вероятно появление резких всплесков трафика – например, при обнаружении пострадавших или при подключении видеоканалов для использования телемедицины.

Всплески трафика и адаптивная реакция АКС на них могут быть смоделированы с использованием нелинейного математического аппарата [1-7]. Предлагается адаптивный подход к формированию состава и структуры АКС по выбранному критерию с возможностью прогноза и корректировки (см. Рисунок 1).

Парадигма ожидаемой полезности Фон Неймана-Моргенштерна является основной парадигмой всех исследований в области принятия решений начиная с 50-х годов XX века. В управленческих дисциплинах (в особенности в анализе решений) она использовалась для предписаний, в военной и экономической теориях – для предсказаний, она играла центральную роль во всех концепциях измеримой (количественной) полезности, поэтому ее формулировка подвергалась многочисленным интерпретациям и модификациям. Предметом исследований явился процесс принятия решений в условиях маловероятных, но масштабных по своим последствиям рисков. Мы связываем с этим две ситуации: когда рассматриваются существенные потенциальные потери (low-probability and high-losses risks (LP/HL)); рассматривается высокий потенциальный выигрыш (low-probability and high-profit risks (LP/HP)).

$$D = \{c_{мер}, t_{мер}, k_i, R, E, Q, N, \tau\}$$

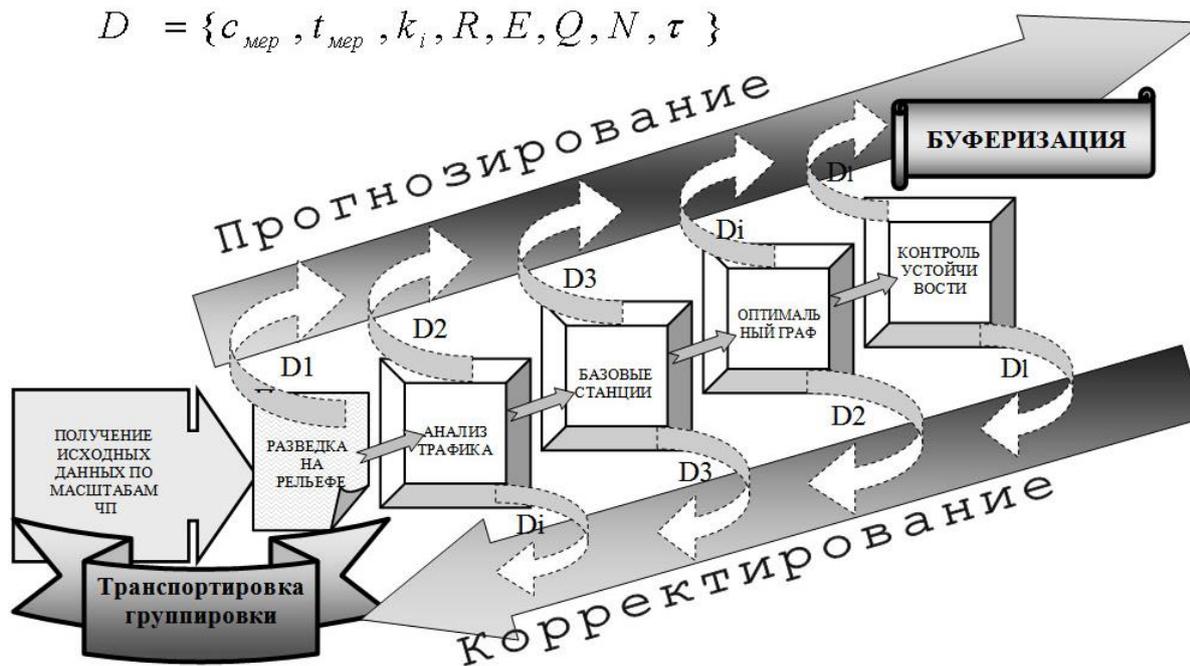


Рисунок 1 – Структура процесса формирования и корректирования состава и структуры группировки беспилотных летательных аппаратов с учетом результатов поэтапного анализа основных эксплуатационных характеристик

Принятие решений в этих ситуациях на практике связано с противоречиями и парадоксами, на которые ссылаются многие исследователи. Если подвергнуть анализу ограничения, положенные в основу модели ожидаемой полезности фон Неймана-Моргенштерна, то можно прийти к выводу, что теория игр является «линейной» теорией. А поэтому в ней не могут рассматриваться нелинейные процессы, происходящие со сменой «медленных» и «быстрых» фазовых режимов.

И поскольку синергетика запросов аэромобильной сети должна учитывать «нелинейный» характер конфликтов, то можно сделать вывод: теория игр применима к рассмотрению конфликтов исключительно в процессах с «медленными» фазовыми режимами, что, фактически, означает ее неприменимость к нелинейным процессам, в которых учитывается влияние детерминированного хаоса.

Неопределенность предполагает наличие сильнейшей нестабильности, при которой результаты действий не обусловлены, поскольку степень возможного влияния различных факторов в создавшихся рискованных ситуациях на результаты часто неизвестна.

Современный подход к анализу неопределенностей основан на теории синергетики, в рамках которой в точках бифуркаций происходит смена фазовых режимов системы и возникает неопределенность состояний. Поэтому любое действие в условиях неопределенности, оказывающее влияние на будущее, имеет

неопределенный исход. Этим можно объяснить тот «разрыв», который возник между теорией игр и «нелинейной стабильностью аэромобильной группировки» [3]. Синергетическая концепция аэромобильной группировки позволяет учесть коллективные процессы самоорганизации, охватывающие практически все варианты развития событий. Она строится как обобщенная структура, включающая нелинейную динамику и теорию самоорганизации. Отметим два фундаментальных свойства синергетической аэромобильной группировки – это: во-первых, обязательный обмен с внешней средой энергией и информацией; во-вторых, взаимодействие, т.е. когерентность поведения между компонентами внутри системы согласно рисунку 2.

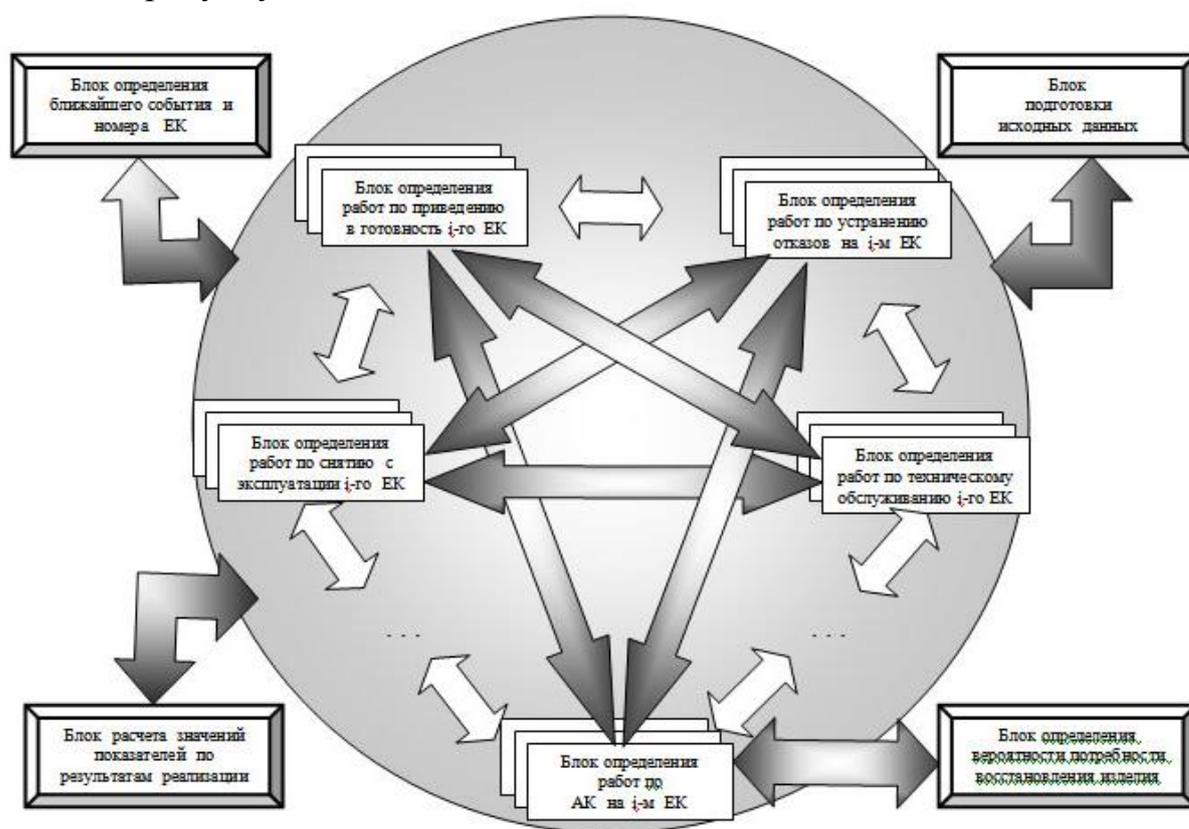


Рисунок 2 – Структура статистической имитационной модели процесса эксплуатации группировки беспилотных летательных аппаратов

Механизм структурной устойчивости АКС можно описать так. Под воздействием флуктуаций (как внутренних, так и внешних) в самоорганизующейся системе появляются приспособительные признаки (это может выражаться в появлении новых признаков у существующих элементов, либо новых элементов, либо новых взаимосвязей между элементами). Обновленная сеть элементов-признаков обеспечивает адаптацию системы к флуктуациям. Если при

этом не меняется способ функционирования системы, то такую систему называют структурно устойчивой. Если один из основателей теории систем Берталанфи объединил понятия «поток» и «равновесие» для описания открытых систем, то другой – основатель теории сложных систем – Пригожин объединил понятия «диссипация» и «структура», чтобы связать воедино две кажущиеся противоречивыми тенденции, которые «сосуществуют» во всех аэромобильных и живых системах. Множественное регулирование по принципу обратной связи, или самонастройка развивающегося организма, лежит в основе поддержания устойчивого состояния, обеспечивает сохранение устойчивости процесса развития (см. рисунок 3) при нерегулярно меняющихся внешних условиях.

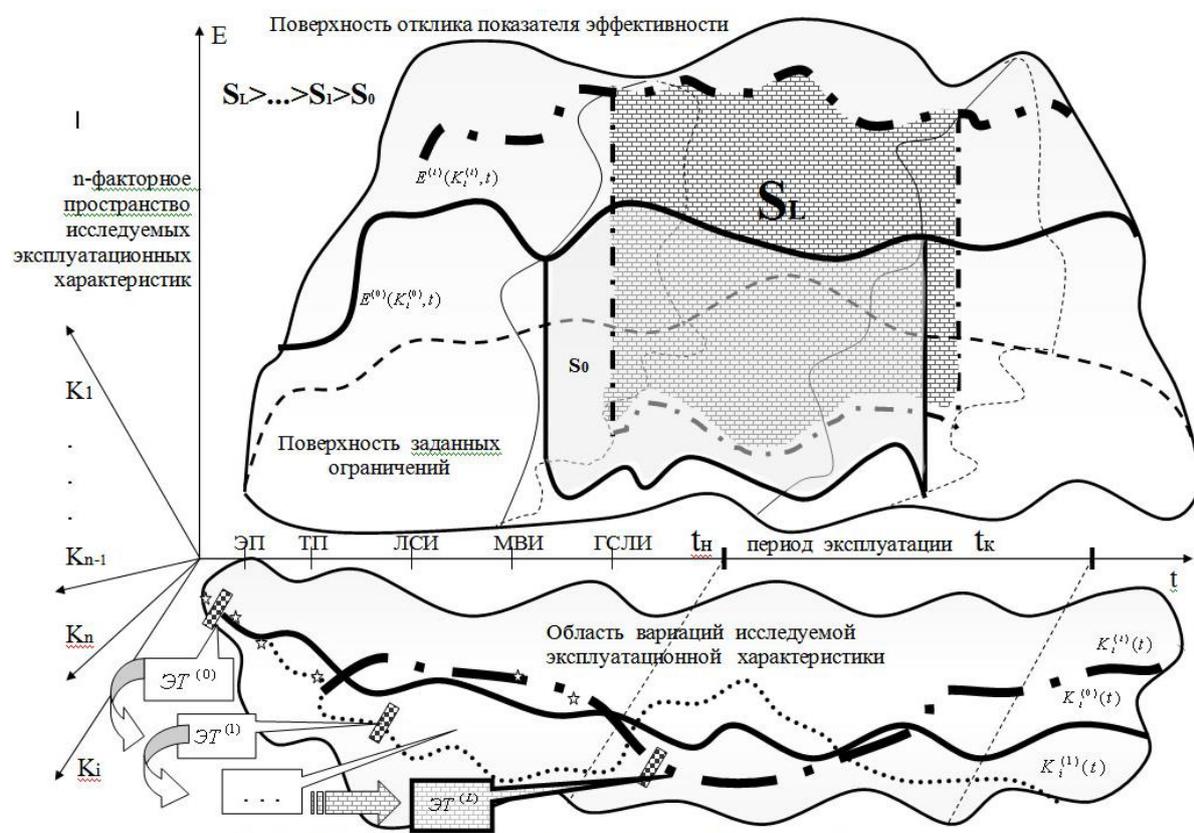


Рисунок 3 – Графическое представление алгоритма работы методики определения состава и структуры группировки беспилотных летательных аппаратов

Таким образом, адаптация системы происходит:  
 ✓ за счет избыточности элементов-признаков,  
 ✓ за счет накопления информации в системе о состоянии окружения.

Эти диссипативные параметры аэромобильной группировки обеспечат максимально возможную надежность достижения

выбранного показателя в хаотично изменяющихся условиях среды, автоселекцию и отбор оптимальных вариантов для существующих ограничений наличных сил и средств АКС.

### Литература

1. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение: Монография. - М.: Изд-во Наука, 1970, 707с.
2. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. Пер. с англ. – М.: Мир, 1999, 354с.
3. Подшивалов Г.К., Терновсков В.Б. Безопасность стратегических решений в нелинейных экономических процессах. // Таврический научный обозреватель, 2015, №3-1, С. 22-28
4. Демидов Л.Н., Терновский В.В., Тарасов Б.А., Терновсков В.Б. . Модель представления информации для применения в экономике // «Экономика: вчера, сегодня, завтра» ISSN 2222-9167, 2016, №3.
5. Подшивалов Г.К. Математические инструменты нелинейного синергетического анализа: Монография, - Барнаул: Си-Пресс. Открытая наука, 2016, 260 с.
6. Подшивалов Г.К., Терновсков В.Б., Демидов Л.Н., Тарасов Б.А. Экономическая безопасность в условиях неопределенности. Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2016. № 2. С. 242-257.
7. Paul J.H. Schoemaker. The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations // Journal of Economic Literature, June 1982, v.XX, no.2, p.529–563.

Чеботарь И.В., к.т.н., начальник отдела, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники;

Балдычев М.Т., адъютант, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники;

Гайчук Ю.Н., адъютант, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники

### **Модифицированный алгоритм определения вектора скорости радиомолчащих воздушных объектов радиотехническим комплексом с источником подсвета на беспилотных летательных аппаратах**

Средства радиотехнического мониторинга (РТМ) обладают высокой степенью скрытности работы, поэтому задача их уничтожения и подавления для противника существенно усложняется. Однако их принципиальным недостатком является невозможность обнаружения неизлучающих (радиомолчащих) воздушных объектов. В радиолокационных системах (РЛС) эта проблема решается за счет использования активного элемента «подсвета», однако, активные РЛС имеют ограниченные возможности по обнаружению воздушных объектов на требуемой дальности в условиях воздействия активных помех (применения противником средств радиоэлектронного подавления (РЭП)). Использование новых приемов применения высокоскоростных ВО (имитация сброса авиабомб или морских мин, включение двигателей на минимальной высоте и групповой полет над морской поверхностью на высоте десятков метров) существенно усложняет работу по их обнаружению наземными радиолокационными и радиотехническими средствами.

Очевидно, что в случае применения ВО режима «полного радиомолчания» для радиотехнического комплекса (РТК) единственным источником информации о ВО является отраженный от него сигнал РЛС подсвета. Таким образом одним из основных путей решения указанной проблемы является комплексирование возможностей средств радиолокации и радиотехнического мониторинга путем построения активно-пассивных комплексов.

Анализ экспериментальных исследований и известных научных работ [1, 2, 3] в области активно-пассивной радиолокации в таких условиях показал, что наилучших показателей живучести и скрытности работы можно добиться, используя высокоподнятые кооперируемые источники подсвета, в том числе за счет их установки на беспилотные летательные аппараты (БЛА). Преимущества в использовании беспилотного летательного аппарата, заключаются в отсутствии на его борту

человека. Благодаря этому, независимо от сложности и трудности выполняемой БЛА задачи, жизни военнослужащих не угрожает опасность. Ему не нужны сложные системы жизнеобеспечения экипажа. БЛА способны действовать в зонах радиационного и химического заражения [4]. На рисунке 1 предложен вариант применения активно-пассивной системы в следующем составе: БЛА с увеличенными высотой и дальностью полета, на борту которого устанавливается бортовая радиолокационная станция (БРЛС) подсвета; мобильный наземный пункт дистанционного управления (НПДУ), оснащенный двумя оперативно-тактическими БЛА типа «Орлан 10», оборудованных бортовым РТК.

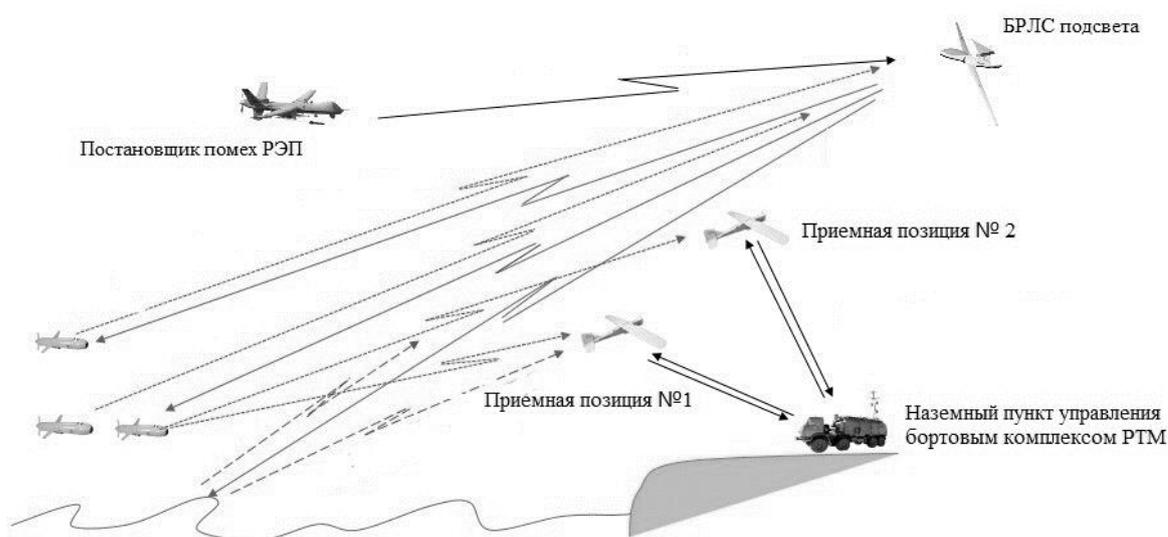


Рисунок 1 – Обнаружение воздушного объекта ботовым РТК с источником подсвета

Традиционно, системы распознавания воздушных объектов в радиотехнических комплексах основываются на анализе и классификации излучений их бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Для перспективных РТК, для получения информации о ВО, предполагается использовать отраженное от них излучение кооперируемых источников подсвета. Соответственно, важным является выбор источника подсвета, так как от него зависят размеры зоны обнаружения, разрешающая способность и ряд других возможностей комплекса. В современных РЛС в качестве зондирующих сигналов используются сигналы сложной структуры, как правило, с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ) [5].

У ЛЧМ сигналов несущая частота изменяется в пределах длительности импульса по линейному закону со скоростью  $\Delta f_o / \tau_u$ , где  $\Delta f_o$  – девиация угловой частоты. При отражении ЛЧМ радиоимпульса

от движущегося объекта за счет влияния эффекта Доплера изменяется частота радиоимпульса:  $f_o = \pm 2V_r / \lambda$ , где  $V_r$  – радиальная скорость объекта,  $\lambda$  – длина волны. Следовательно, меняется и скорость изменения частоты внутри импульса  $\gamma = 2f_o / \tau_u$ , где  $\tau_u$  – длительность отраженного радиоимпульса. Таким образом, исходя из свойств ЛЧМ сигнала, можно сделать вывод о том, что скорость изменения частоты  $\gamma_2$ , отраженного от объекта радиоимпульса, отличается от скорости изменения частоты  $\gamma_1$  зондирующего радиоимпульса, а, следовательно, становится возможным для РТК измерить разность  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  и определить радиальную скорость объекта. Помимо этого, анализ, проведенный авторами статьи в [6,7], показал, что при обработке прямого и отраженного ЛЧМ сигнала на двух и более приемных позициях РТК возможно определение вектора скорости движения ВО, функционирующего в режиме «полного радиомолчания».

Для определения вектора скорости движения ВО в [7] авторами статьи разработан соответствующий алгоритм. Работа алгоритма основывается на измерении величины отклонения скорости линейного изменения частоты ( $\gamma$ ) внутри ЛЧМ-импульса, отраженного от движущегося ВО относительно скорости изменения частоты внутри ЛЧМ-импульса зондирующего сигнала, которая пропорциональна значению радиальной скорости движущегося объекта

$$V_r = \frac{c}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\gamma_1 - \gamma_{разн}}{\gamma_1} \right) \right]. \quad (1)$$

За счет совмещения радиальных составляющих обнаруженного воздушного объекта, рассчитанных на первой и второй приемной позиции, в одной системе отсчета определяется вектор движения этого ВО.

Совмещение радиальных составляющих возможно, когда  $\gamma_1$  принятого ЛЧМ-импульса прямого зондирующего (опорного) сигнала будет одинакова для обеих позиций, т.е. при синхронном по скорости и направлению движения приемных позиций относительно источника подсвета (ИП), а также имеющих с ИП одинаковый бистатический угол (ИП в свою очередь должен иметь статический характер). Добиться выполнения этого условия на практике сложно, поэтому был разработан блок компенсации (рисунок 2, выделено цветом) флуктуации  $\gamma_1$  внутри ЛЧМ-импульса принятого на приемных позициях прямого зондирующего (опорного) сигнала ИП, вызванной асинхронным движением приемных позиций и источника подсвета.

Исходя из того, что ИП в рассматриваемом комплексе РТК является кооперируемым (т.е. известны его курсовая (действительная) скорость и маршрут движения) существует возможность математического расчета флуктуации  $\gamma_1$  принимаемого прямого

зондирующего сигнала на первой ( $\Delta\gamma_1$ ) и второй ( $\Delta\gamma_2$ ) приемной позиции (рисунок 3), с целью их последующей компенсации.

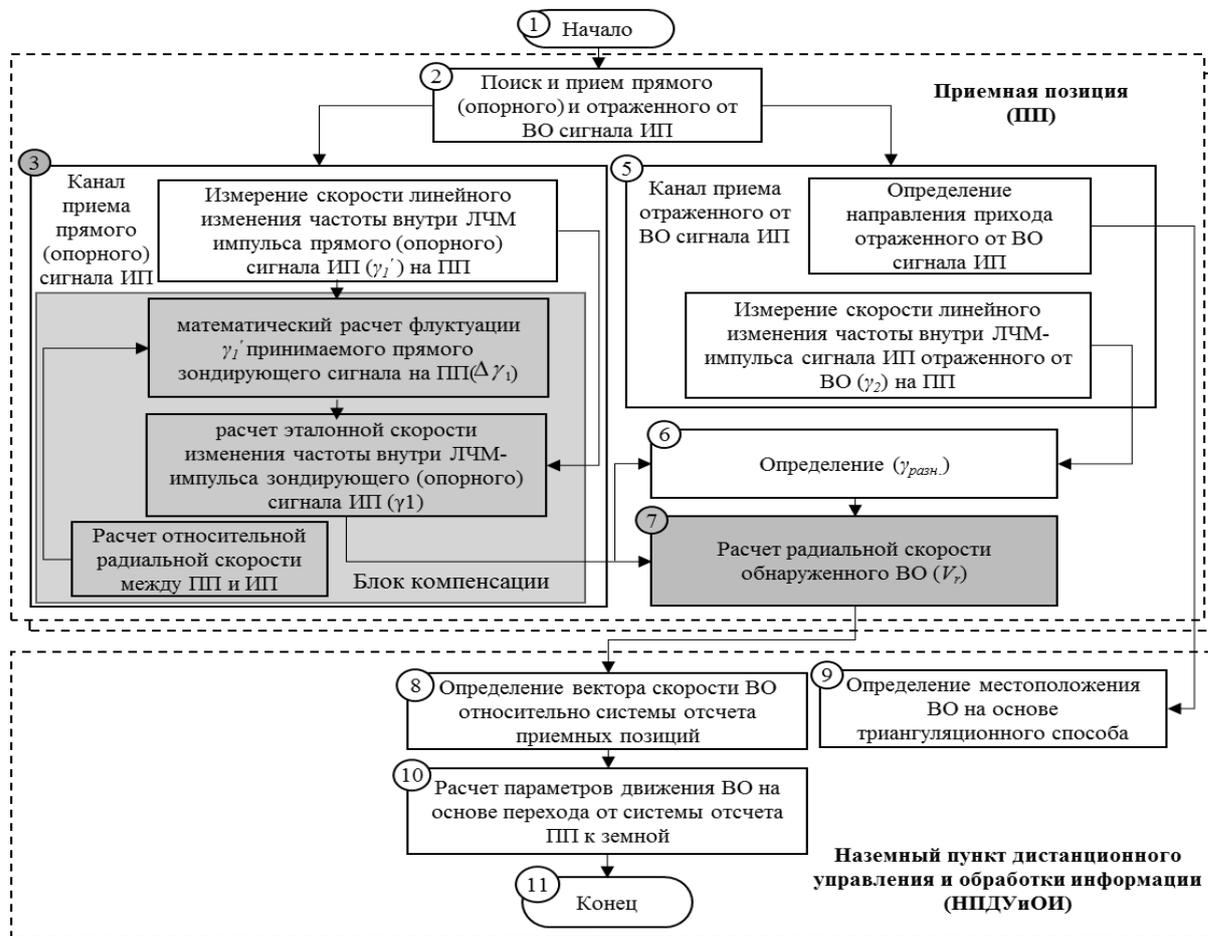


Рисунок 2 – Алгоритм расчета параметров движения обнаруженного ВО с блоком компенсации флуктуаций  $\gamma_1'$

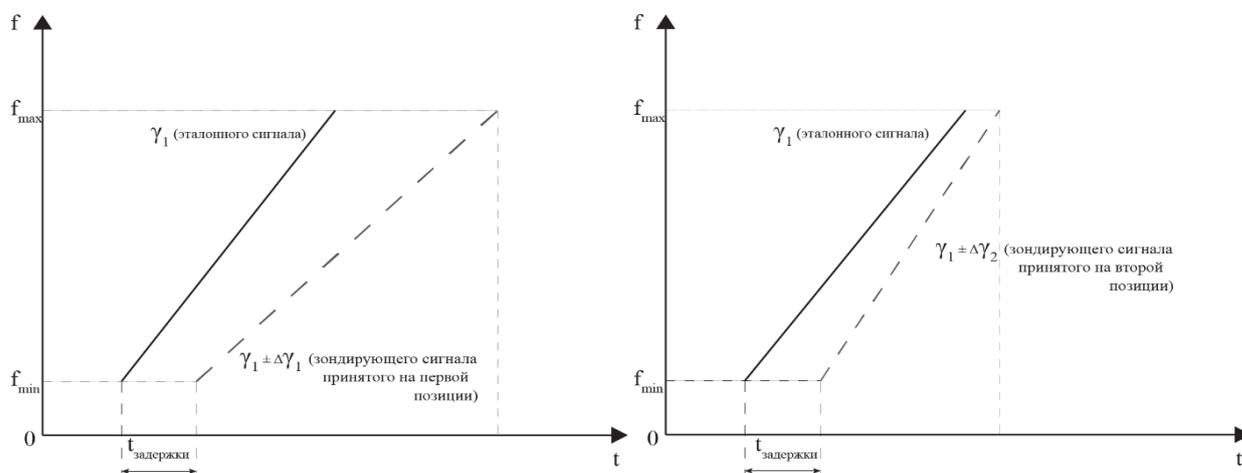


Рисунок 3 – Иллюстрация отклонения значений скорости изменения частоты внутри ЛЧМ-импульса зондирующего сигнала ИП, принятого на ПП1 и ПП2

Работа блока компенсации  $\Delta\gamma_1$  и  $\Delta\gamma_2$  заключается в последовательном выполнении трех шагов.

1. Расчет относительной радиальной скорости между источником подсвета и приемной позицией (Рисунок 4). Расчет осуществляется на основе анализа направления движения ИП и ПП, а также их путевых (действительных) скоростей. Для определения радиальной скорости ИП относительно ПП, необходимо найти их радиальные скорости относительно друг друга, поочередно принимая за неподвижный объект ПП и ИП. Исходя из определения радиальной скорости, которая определяется как проекция скорости точки (объекта) на прямую, соединяющую ее с выбранным началом координат, для нахождения относительной радиальной скорости необходимо за начало координат последовательно выбирать ИП и ПП. Затем найденные значения складываются или вычитаются в зависимости от сближения или удаления ПП и ИП относительно друг друга.

2. Расчет  $\Delta\gamma_1$  и  $\Delta\gamma_2$  для соответствующей позиции. Данная операция осуществляется путем определения  $\gamma_1'$  и  $\gamma_2'$  (скорость изменения частоты внутри ЛЧМ-импульса прямого зондирующего сигнал ИП принятого на первой и второй ПП).

$$\gamma_1' = 2f_{Д1} / \tau \quad (2)$$

$$\gamma_2' = 2f_{Д2} / \tau \quad (3)$$

Зная значение относительной радиальной скорости между ПП1 и ИП, ПП2 и ИП можно найти искомое отклонение  $\Delta\gamma_1$  и  $\Delta\gamma_2$  по формуле:

$$\Delta\gamma_1 = \pm \frac{2V_{r(отн1)}\gamma_1'}{c} \quad (4)$$

$$\Delta\gamma_2 = \pm \frac{2V_{r(отн2)}\gamma_2'}{c} \quad (5)$$

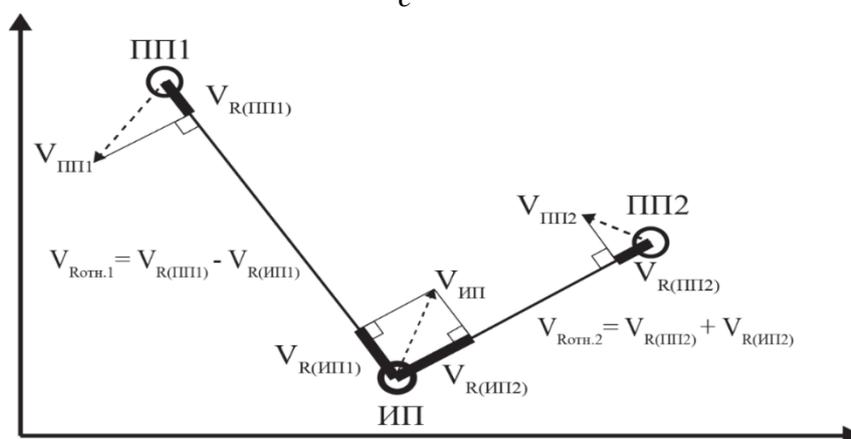


Рисунок 4 – Расчет относительной радиальной скорости ПП и ИП

3. Расчет эталонной скорости изменения частоты внутри ЛЧМ-импульса зондирующего (опорного) сигнала ИП, за счет компенсации флуктуаций  $\Delta\gamma_1$  и  $\Delta\gamma_2$  на первой и второй позиции, соответственно. Для этого необходимо из (к) измеренных значений  $\gamma_1'$  и  $\gamma_2'$  вычесть (прибавить) рассчитанные математически (на основе анализа относительного движения ПП и ИП) флуктуации  $\Delta\gamma_1$  и  $\Delta\gamma_2$ :

$$\gamma_1 = \gamma_1' \pm \Delta\gamma_1 \quad (6)$$

$$\gamma_2 = \gamma_2' \pm \Delta\gamma_2 \quad (7)$$

С целью проверки работы модифицированного алгоритма было разработано программное обеспечение [8], состоящее из пакета программ с использованием среды LabVIEW 2014, позволяющее моделировать и производить расчет действительной скорости и курса движения обнаруженного объекта в условиях динамичности приемных позиции комплекса РТМ и ИП (Рисунок5).

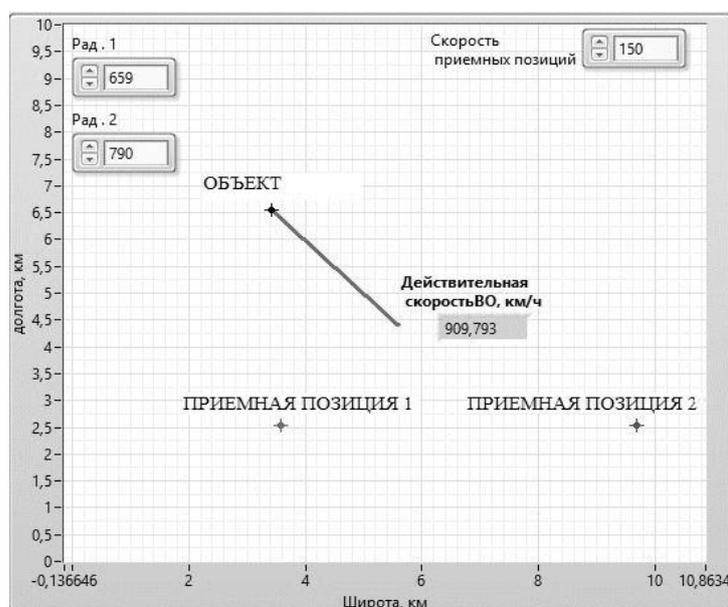


Рисунок 5 – Графический интерфейс программы по моделированию и расчету путевой скорости обнаруженного объекта

Результаты имитационного моделирования подтвердили возможность получения с помощью разработанного модифицированного алгоритма путевой скорости и курса движения ВО, с учетом параметров движения БЛА – носителей бортового РТК и кооперируемого ИП.

#### **Заключение**

В рамках статьи разработан модифицированный алгоритм определения вектора скорости движения высокоскоростных

радиомолчащих ВО бортовым РТК с источником подсвета на БЛА, использующего в качестве зондирующего сигнал с ЛЧМ.

Разработанный алгоритм, за счет добавления блока компенсации погрешностей в измерениях вызванных движением носителей, адаптирован к применению в комплексах, в которых в качестве носителей приемной и передающей аппаратуры используются беспилотные летательные аппараты.

### **Список литературы**

1. Кондратьев В.С., Котов Ф.А., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь. 1986. 362 с.
2. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Минск: Наука и техника. 1978. 184 с.
3. Боев С.Ф., Гудков А.А., Чеботарь И.В. и др. Обеспечение живучести радиотехнических систем за счет повышения их структурной устойчивости // Научные технологии. 2016. № 12.
4. Балдычев М.Т., Ромашов В.А. Анализ существующих подходов к классификации беспилотных летательных аппаратов военного назначения. // М.: ЦВНИ МО РФ. Сборник рефератов депонированных рукописей. Серия Б. Выпуск № 114, 2016.
5. Боев С.Ф., Хазов П.Н., Чеботарь И.В. Метод моноимпульсного измерения радиальной скорости объектов в радиолокационной системе с линейной частотной модуляцией // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. №12. С. 48-51.
6. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. М.: Воениздат. 2001. 456 с.
7. Балдычев М.Т., Коротков В.А., Чеботарь И.В. и др. Алгоритм определения действительной скорости и курса движения высокоскоростных малоразмерных объектов воздушным комплексом радиотехнического мониторинга с источником подсвета // М.: Научные технологии. № 12. 2016.
8. Балдычев М.Т., Чеботарь И.В., Гайчук Ю.Н. и др. Моделирование и расчет параметров движения воздушных объектов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017610702/. 2017.

Черкасов И.В., ведущий инженер, ООО «ОКБ УЗГА»  
г. Екатеринбург

## **Разработка альтернативного метода обеспечения посадки для КБЛА**

***Аннотация:** В докладе рассматривается вопрос построения системы обеспечения автоматического взлета/посадки с использованием оптико-электронной системы, устанавливаемой на борту БЛА*

В настоящее время в мире большинство комплексов с БЛА самолетного типа, выполняющие автоматический взлет/посадку с ВПП («по самолетному»), используют в качестве основного навигационного датчика системы глобальной спутниковой навигации GPS, ГЛОНАСС (в перспективе Galileo, BeiDou).

В качестве альтернативных навигационных систем, позволяющих обеспечивать систему управления высокоточными навигационными решениями для реализации автоматического взлёта/посадки, в основном применяются различные оптические и радиотехнические локальные системы.

В докладе рассматривается вопрос построения системы обеспечения посадки с использованием оптико-электронной системы (ОЭС), устанавливаемой на борту БЛА. Для выполнения БЛА задач по назначению ОЭС предназначена, прежде всего, для ведения мониторинга подстилающей поверхности и обзора окружающего воздушного пространства. В качестве расширения функций предлагается задействовать ОЭС в качестве альтернативного навигационного датчика обеспечения взлёта/посадки.

Суть способа заключается в измерении бортовой ОЭС дальности и углов ориентации ОЭС, привязанной к строительной оси БЛА, относительно наземных средств обеспечения взлёта/посадки. В качестве наземных средств обеспечения посадки применяется одна яркая и контрастная в видимом и ИК- спектрах метка (мишень), устанавливаемая в районе взлетно-посадочной полосы. Контрастная метка (мишень) имеет четко определённые координаты относительно ВПП, которые загружаются перед (во время) полета и хранятся в памяти БЛА.

При заходе БЛА на глиссаду оператор производит захват контрастной метки на сопровождение телеавтоматом ОЭС и переводит управление посадкой БЛА в автоматический режим по данным от ОЭС. Телеавтомат ОЭС производит сопровождение изображения и удерживает ось визирования ОЭС на мишени.

Производится непрерывное измерение дальности до мишени и углов отклонения оси визирования от строительной оси самолета (Рисунок 1). Производится автоматическая трансфокация оптических каналов для исключения разрыва оптической связи и обеспечения оптимальных геометрических размеров изображения мишени для работы телеавтомата сопровождения. На основании результатов измерений ОЭС, а также углов ориентации БЛА, системой управления производится расчет абсолютного местоположения и векторов скорости БЛА. В случае срыва сопровождения или рассогласования системы сопровождения на величину выше настроенного порога, производится прекращение автоматической посадки и уход БЛА на второй круг.

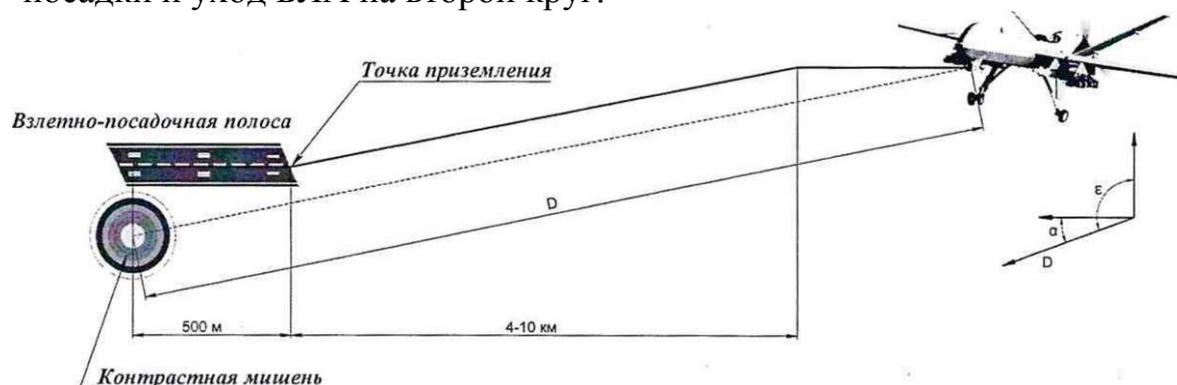


Рисунок 1 – Принцип посадки БЛА с использованием ОЭС в качестве навигационного датчика

Аналогичным способом данную систему можно применять для обеспечения автоматического взлета. В точке старта производится захват телеавтоматом на автоматическое сопровождение мишени. Начинают измеряться абсолютные координаты БЛА, осуществляется автоматический взлет.

Для обеспечения функционирования данной измерительной системы в автоматическом режиме к ОЭС предъявляются несколько дополнительных требований:

- наличие оптических каналов с трансфокаторами и узкими полями зрения (до 2);
- наличие лазерного дальномера;
- наличие телеавтомата сопровождения;
- обеспечение стабилизации и измерение положение оси визирования с общей погрешностью не хуже 1 мрад;
- темп выдачи результатов измерений не менее 10 Гц.

При условиях нахождения наземных средств обеспечения посадки

(мишени) на удалении порядка 500 м от точки касания БЛА на ВПП и использовании ОЭС с общей погрешностью измерения положения оси визирования не более 1 мрад, погрешность определения поперечных и высотных координат БЛА относительно ВПП не должно превышать 1 м. Погрешность продольных координат, прежде всего, будет определяться погрешность лазерного дальномера и находится в пределах 5-10 м. При указанных значениях погрешностей измерений местоположения БЛА относительно ВПП возможна реализации автоматических алгоритмов взлета/посадки.

В качестве достоинств данной системы можно отметить возможность автономного обеспечения системы управления БЛА навигационными решениями с минимальными требованиями к наземному сегменту (только контрастная мишень). Выработка и обработка результатов измерений производится автономно на борту. Оператор БЛА участвует только в первоначальном захвате мишени. В перспективе данную систему можно адаптировать под автоматические алгоритмы захвата мишени, что позволит использовать данную систему посадки без связи с наземным сегментом комплекса, например, при отказе каналов передачи данных.

В качестве недостатков можно отметить необходимость комплектования БЛА ОЭС, с серьезными тактико-техническими характеристиками, что затруднительно для определенных классов БЛА, например, легких. Также существует проблема установки ОЭС совместно с другими типами полезных нагрузок на средние БЛА, например, совместно с радиолокационной станцией или аппаратурой радиотехнического мониторинга. Также, данная система довольна критична к метеорологической обстановке, и имеет серьезные ограничения при плохих условиях видимость - осадки, туман, низкая граница облачности.

Таким образом, представленный метод целесообразно развивать как альтернативный метод обеспечения взлета/посадки в дополнении к существующим радионавигационным методам.

Шевченко А.В., к.т.н., начальник лаборатории (научно-исследовательской) ВКА имени А.Ф. Можайского;

Юрьев А.С., д.т.н., профессор, профессор 13 кафедры ВКА имени А.Ф. Можайского;

Савищенко Н.П., к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории военного института (научно-исследовательского) ВКА имени А.Ф. Можайского

### **Применение современных методов численного моделирования при разработке и совершенствовании беспилотных летательных аппаратов**

В статье представлены результаты исследования аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата (БЛА), полученные на основе численного и экспериментального моделирования задачи дозвукового обтекания БЛА сложной формы. Для задач такого класса применение методов математического моделирования на ранних стадиях процесса проектирования позволяет существенно снизить потребности в физическом эксперименте и провести предварительную параметрическую оптимизацию, позволяющую выбрать проектные параметры изделия. В то же время снижение потребности в физическом эксперименте ничуть не снижает его ценности как основного критерия верификации результатов численного моделирования.

При создании образцов вооружения и военной техники большую роль играет применение современных вычислительных программ моделирования физических процессов (численное моделирование) совместно с экспериментальными исследованиями для верификации математических моделей исследуемых явлений. В работе рассмотрен вопрос верификации адаптированных математических моделей к реальным процессам обтекания летательных аппаратов сложной формы.

В статье приведены результаты численного и экспериментального исследования аэродинамических характеристик разведывательно-ударного БЛА MQ-9 Reaper (рисунок 1).

Данный БЛА был создан на основе MQ-1 Predator, оснащен турбовинтовым двигателем, позволяющим развивать скорость более 400 км/ч. Практический потолок составляет 13000 м. Максимальная продолжительность полета равна 24 часам. В качестве профиля крыла передней консоли был выбран профиль плоско-выпуклого крыла NASA-2210. Эти характеристики послужили основой для определения диапазона исходных данных, используемых в исследованиях.



Рисунок 1 – Беспилотный летательный аппарат MQ-9

Теоретическое определение аэродинамических характеристик БЛА выполнялось в средах Flow Simulation пакета SolidWorks (лицензия ВКА имени А.Ф. Можайского № 900 000 922 981 664 8JY WB3 Q2C) и ANSYS с кодом CFX (лицензия ВКА имени А.Ф. Можайского № 1020993).

### Численный эксперимент

Для проведения численных расчетов, с помощью САД-пакета была построена трехмерная модель БЛА MQ-9 Reaper в масштабе (рисунок 2). На модели крышка воздухозаборника выполнена закрытой.

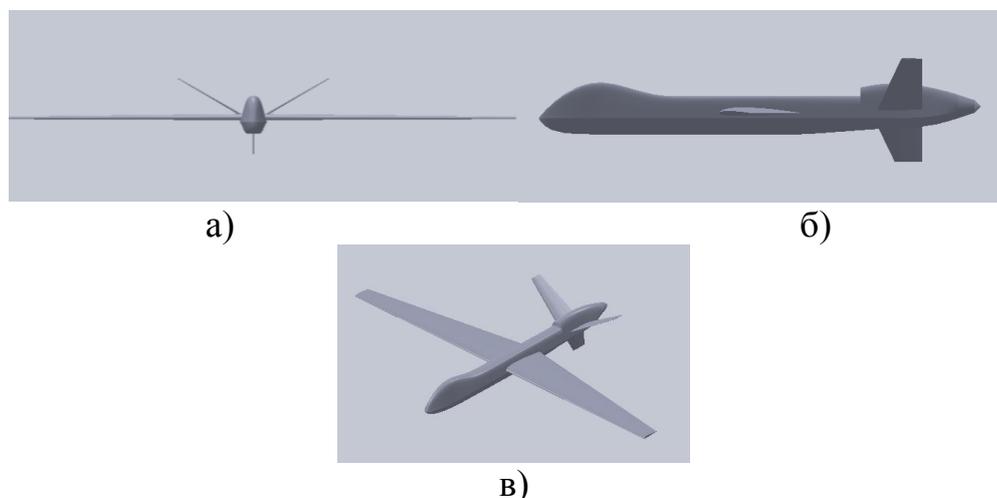


Рисунок 2 – Трехмерная модель БЛА MQ-9 Reaper: а) – вид спереди; б) – вид сбоку; в) – изометрия

Применявшиеся в расчетах сетки имели размерность примерно  $1,6 \cdot 10^6$  тетраэдральных и гексагональных элементов (рисунок 3). Расстояние от первой расчетной точки до стенки обеспечивало подходящий для используемой модели диапазон нормированного расстояния  $y^+$  от 15 до 25 и являлось достаточно малым для определения местных газодинамических характеристик вблизи поверхности БЛА. Для Ansys CFX –размер сетки составил 243,6 тыс. элементов, минимальный угол, максимальный аспект и максимальный

коэффициент роста составили соответственно 43,7 град., 19 и 5. Для Flow Simulation –размер сетки составил 15,1 тыс. узлов, минимальный угол, максимальный аспект и максимальный коэффициент роста составили соответственно 25 град., 25 и 9.

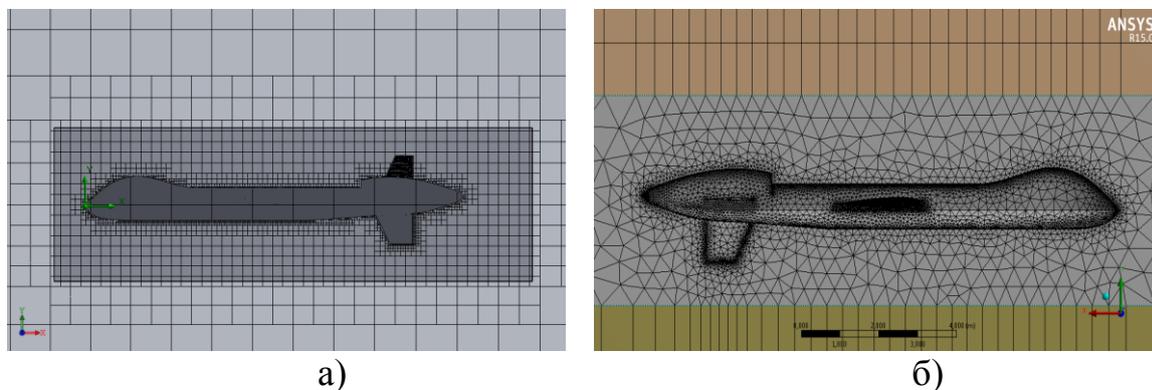


Рисунок 3 – Аппроксимация конечными элементами расчетной области вблизи БЛА: а) аппроксимация конечными элементами в Flow Simulation SolidWorks; б) аппроксимация конечными элементами в Ansys CFX

Расчет проводился при режиме течения сплошной среды (число Кнудсена  $Kn < 0,01$ ). В качестве рабочего тела выбрана модель двухатомного газа ( $\kappa=1,4$ ), учитывающая вязкость и теплопроводность.

Исходные данные для расчетов:  $Re_{\infty}=6...1,4 \cdot 10^6$ ,  $T_{\infty}=293$  К,  $\rho_{\infty}=1,225$  кг/м<sup>3</sup>,  $p_{\infty}=1,01$  кПа. В Ansys CFX в качестве модели турбулентности, замыкающей уравнения Навье-Стокса, осреднённые по Рейнольдсу, использовалась модель переноса сдвиговых напряжений Ментнера (*SST*) [3]. Проведенный анализ показал, что при сравнении с другими используемыми в настоящее время моделями турбулентности подход Ментнера демонстрирует достаточно высокую эффективность при расчетах характеристик обтекания тел сложной формы [2]. При использовании Flow Simulation SolidWorks использовалась классическая *k-e* модель турбулентности ввиду ограниченности применимости данного пакета.

Результаты численных расчетов аэродинамических коэффициентов при различных углах атаки приведены на рисунках 4 – 7.

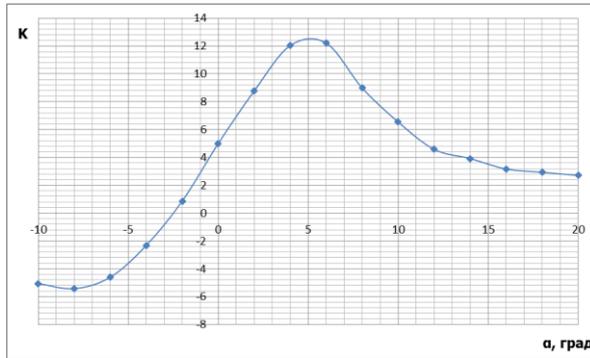


Рисунок 4 – Зависимость аэродинамического качества от  $\alpha$

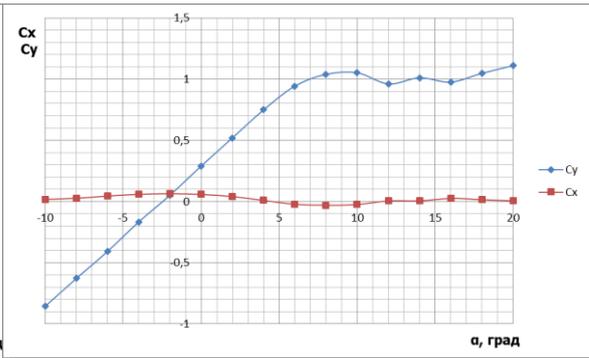


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов нормальной и поперечной силы от  $\alpha$

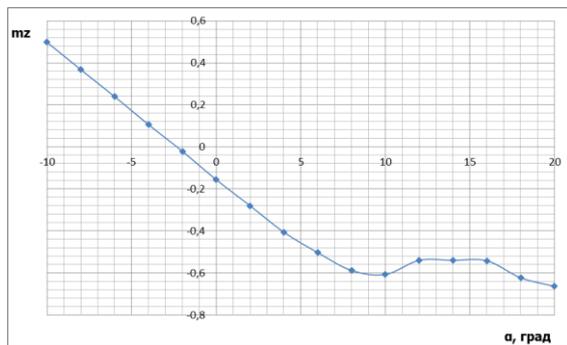


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента момента тангажа от  $\alpha$

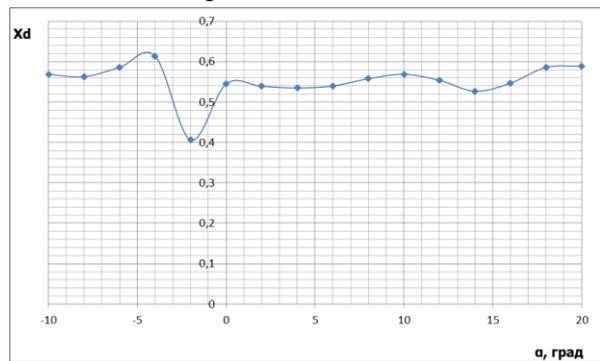
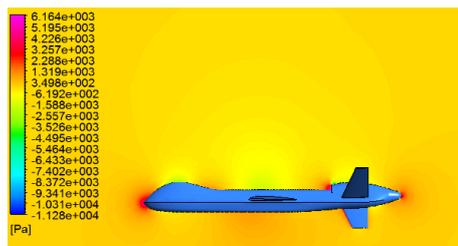


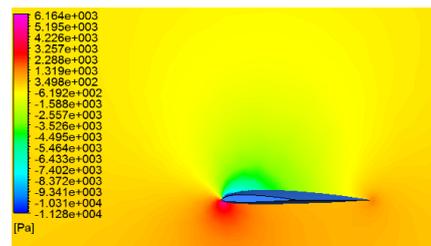
Рисунок 7 – Зависимость коэффициента центра давления от  $\alpha$

Как видно из рисунка 5, зависимость  $C_{y\alpha}$  от  $\alpha$  имеет линейный характер. Наивыгоднейший угол атаки  $\alpha=6^0$ . Зависимость  $C_{x\alpha}$  от  $\alpha$  имеет также стандартный, параболический вид, минимум функции которой находится в диапазоне углов атаки ( $\alpha=0^0 \sim 3^0$ ). Также стоит отметить, что результаты расчетов, выполненных в ANSYS CFX и SolidWorks, показали хорошую согласованность.

Положение центра давления (рисунок 8), равное 0,55, почти не изменяется в диапазоне углов атаки  $-10^0 < \alpha < 8^0$  за исключением  $-4^0 < \alpha < -2^0$ . Распределение давления в плоскости оси симметрии БЛА, вблизи крыла БЛА, а также на поверхности БЛА представлено на рисунке 9.



а)



б)

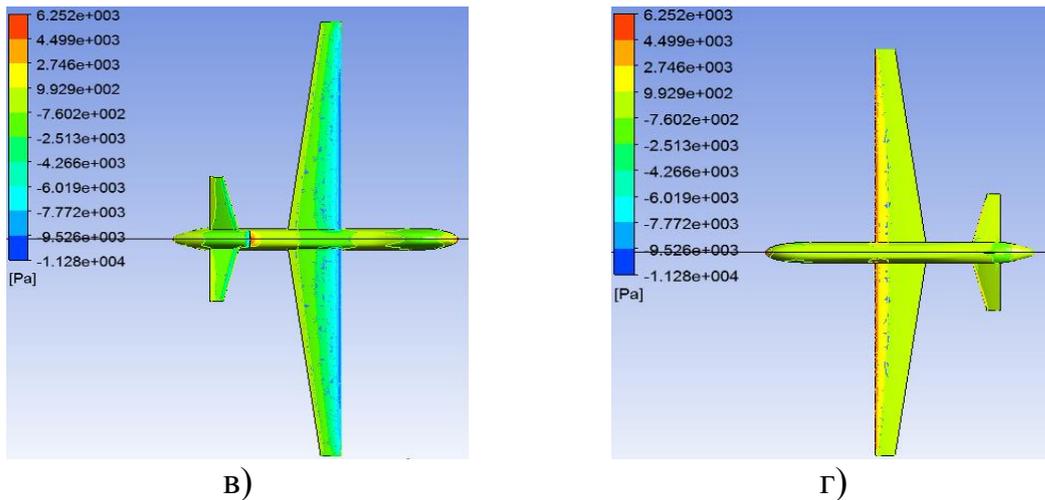


Рисунок 8 – Распределение давления:  
 а) в плоскости оси симметрии БЛА; б) – вблизи крыла БЛА; в) на поверхности БЛА (вид сверху); г) на поверхности БЛА (вид снизу)

### Физический эксперимент

Для экспериментального определения аэродинамических характеристик БЛА MQ-9 Reaper была изготовлена модель масштабom 1:28. Продувки производились в дозвуковой аэродинамической трубе Т-2 (аттестат №13/1087) (рисунок 9). Расположение модели соответствующим образом в рабочей части аэродинамической трубы обусловлено конструкцией аэродинамических весов. Дозвуковая аэродинамическая труба Т-2 оборудована четырехкомпонентными аэродинамическими весами 4КВТ2 с ниточной подвеской модели. Замеры проводятся в скоростной системе координат. На весах измеряются сила лобового сопротивления, подъемная и боковая силы. Момент тангажа подсчитывается по замерам составляющих подъемной силы и силы сопротивления. В процессе подвески производится строгая ориентация модели по направлению вектора скорости потока (оси трубы). В потоке находится модель с державками и часть нитей. Все остальные конструктивные узлы и элементы подвески весов вынесены за его пределы.

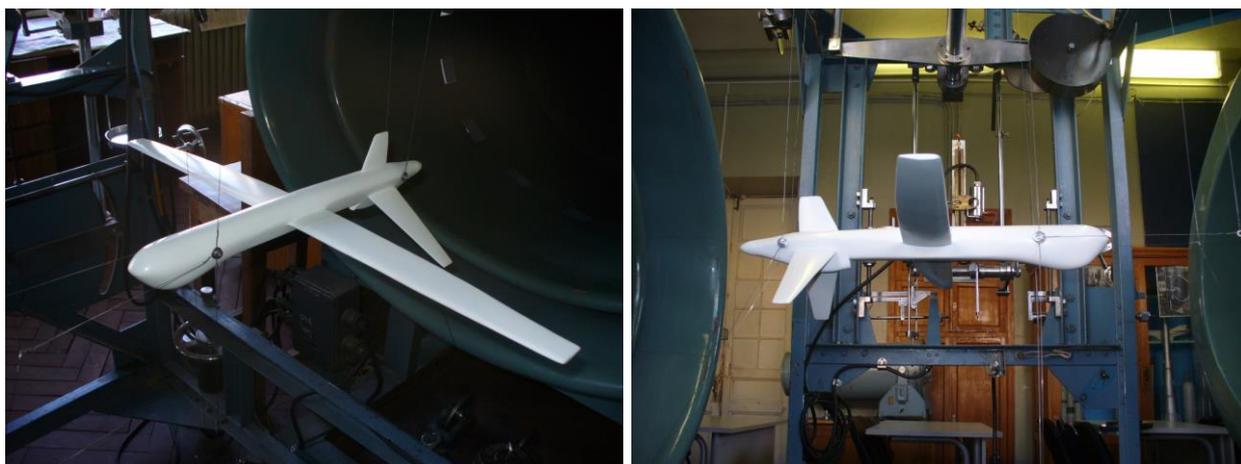
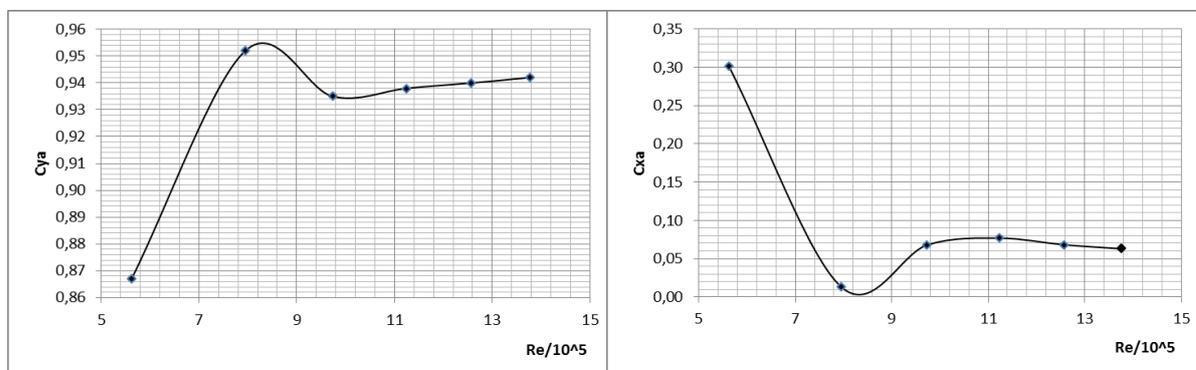


Рисунок 9 – Модель MQ-9 Reaper, установленная в рабочей части дозвуковой аэродинамической трубы Т-2

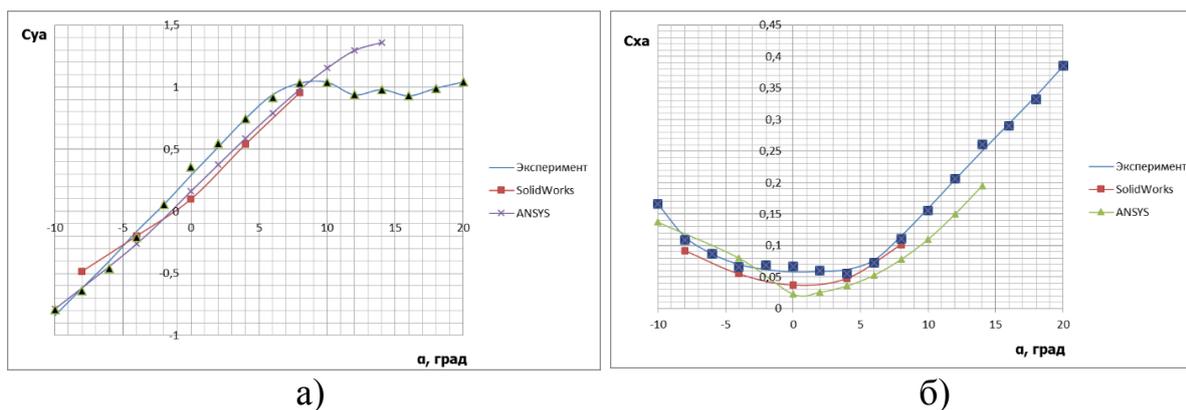
Экспериментальные исследования проводились при числе Рейнольдса  $Re_\infty = 1,4 \cdot 10^6$  и углах атаки  $-10^0 < \alpha < 8^0$ , результаты которых представлены на рисунки 10 и 11.

Как видно из графиков, автомодельный режим наступает при  $Re_\infty > 10^6$ , таким образом результаты эксперимента, проведенного при числе Рейнольдса  $Re_\infty = 1,257 \cdot 10^6$  возможно переносить на натурную модель.



а) б)  
Рисунок 10 – Зависимость коэффициента подъемной силы (а) и лобового сопротивления (б) от  $Re_\infty$  ( $\alpha = 6^0$ )

На рисунке 11 представлены графики зависимостей  $C_{ya}$  и  $C_{xa}$  от  $\alpha$ , полученные в ходе проведения экспериментов на дозвуковой аэродинамической трубе Т-2 и расчетов в пакетах SolidWorks и ANSYS CFX. Видно хорошее согласование результатов теоретических и экспериментальных исследований (погрешность менее 15%).



а) б)  
Рисунок 11 – Зависимость коэффициентов подъемной силы (а)  
и силы лобового сопротивления (б) от  $\alpha$

### Заключение

Выполненные расчеты аэродинамических характеристик БЛА и сравнение их с экспериментальными данными позволили определить размерность расчетных разностных сеток, удовлетворяющих приемлемым затратам машинного времени. Оценка достоверности и точности полученных результатов дает основание сделать вывод о том, что единство вычислительного моделирования в среде современных САЕ-пакетов (SolidWorks и Ansys) и физического эксперимента, можно представить как виртуальный экспериментальный стенд для изучения особенностей сложных аэрогидродинамических явлений при разработке и совершенствовании образцов военной техники.

### Список используемых источников

1. А.В. Шевченко, А.С. Юрьев и др. Численное исследование обтекания тела сверхзвуковым потоком с кольцевой зоной энерговыведения / Шевченко А.В., Юрьев А.С. и др. // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы совершенствования тактико-технических характеристик ракетно-космической техники, ее создания, испытаний и эксплуатации», 9 – 10 апреля 2013 г., – С.25–34.

2. Грачев И.Г., Низовцев В.М. Аэрогазодинамика: руководство к лабораторным работам. ВКА имени А.Ф. Можайского. – СПб., – 2005.

3. F.R. Mentner, P.F. Galpin, T. Esch, M. Kuntz., C. Berner CFD Simulations of Aerodynamic Flows with a Pressure-Based Method / Mentner F.R. Galpin P.F., Esch T., Kuntz M., Berner C. // Paper ICAS 2004-2.4.1, Japan, Yokohama, 2004. – 11 p.

Якупов И.Р., главный конструктор направления ЗАО «ЭНИКС»

## **Имитационно-испытательные комплексы для РЛС СПРН**

Предприятие ЗАО «ЭНИКС» с 2009 г. ведет разработку и опытную эксплуатацию комплекса РТ10 с беспилотными летательными аппаратами- носителями спецаппаратуры для испытаний РЛС слежения за космическим пространством и системы предупреждения о ракетном нападении. В настоящее время комплексы используются для работы с РЛС «Дон-2Н» (5Н20) и новыми, вводимыми в строй РЛС типа «Воронеж-М» (77Я6).

Комплекс РТ10 первого поколения выполнен на базе двух автомобилей повышенной проходимости ГАЗ-3308: наземный пункт управления и транспортная машина для перевозки БЛА, пусковых установок и другого имущества комплекса. Комплекс с расчетом из 4-х человек обеспечивает автономную работу в условиях полигонов в летних и зимних условиях.

Комплекс имеет в своем составе и обеспечивает функционирование с БЛА типа Е10 с электрическим двигателем и БЛА типа Е09 с поршневым двигателем и увеличенной массой полезной нагрузки. В качестве полезной нагрузки оба типа БЛА комплектуются блоками спецаппаратуры, обеспечивающими прием зондирующих сигналов РЛС, их переизлучение, а также передачу параметров данных сигналов через телеметрический канал БЛА на НПУ для регистрации и дальнейшего анализа. Система определения координат БЛА на основе приемника ГЛОНАСС/GPS совместно с наземной аппаратурой НПУ позволяет регистрировать траекторию полета с точностью не более 1 м в пространстве с пересчетом местоположения БЛА в каждый момент времени в систему координат РЛС. Далее сравнение эталонной траектории движения БЛА с полученной по результатам измерения РЛС служит для расчета поправок для юстировки РЛС.

Процесс юстировки выполняется путем полета БЛА на расстояние от 10 до 60 км и высотах от 50 до 3000 м от РЛС, при этом обеспечивается необходимая траектория полета, например, полет вдоль оси луча диаграммы или облет по радиусу для сравнения энергетике парциальных диаграмм многолучевой антенной решетке.

Комплексы РТ10 обслуживают обе российские РЛС данного типа: «Дон-2НП», расположенную в районе озера Балхаш (Сары-Шаган, Республика Казахстан) и РЛС «Дон-2Н» района ПРО Москвы (Софрино-1).

Комплекс несложен в эксплуатации, позволяет на порядки снизить затраты при тестировании РЛС СПРН по сравнению с применением для этой же цели пилотируемой авиации.

В 2013 г. комплекс был модернизирован, получив возможность использования системы передачи данных и связи (СПДС) на базе БЛА-ретранслятора E10P и наземных средств связи. СПДС обеспечивает возможность голосовой связи и передачи текстовой информации на расстояние не менее 250 км между наземными пунктами.

СПДС используется на 10 ИП МО РФ (Сары-Шаган) для обеспечения связи между площадками при проведении пусков изд. 53Т6 (код НАТО Gazelle).

В 2016 г. введен в строй и передан Заказчику второй комплекс РТ10, оснащенный модернизированными БЛА E10 и НПУ на шасси КаМАЗ.

БЛА комплекса оснащен специальной аппаратурой, обеспечивающей тестирование РЛС и средствами высокоточного местоопределения для выдачи траекторной информации, служащей для юстировки РЛС

Разработка данного имитационно-испытательного комплекса удостоена премии имени академика А.А. Расплетина.

Для проведения испытаний новых РЛС системы предупреждения о ракетном нападении и контроля космического пространства типа «Воронеж-М» по заказу РТИ им. Академика Минца разработана еще одна модификация комплекса, отличающаяся другим составом спецаппаратуры БЛА E10В. БЛА E10В оснащается также вращающейся антенной метрового диапазона для обеспечения излучения с различной поляризацией.

Конструкция БЛА E10В унифицирована с элементами конструкции БЛА E10 и Т10Э и позволяет использовать однотипные пусковые установки и средства наземного обслуживания.

На сегодняшний день комплекс использовался при проведении ПИ и ГИ станций «Воронеж-М», введенных в строй в п. Мишелевка, Иркутской обл. и г. Орск Оренбургской обл., в дальнейшем запланировано использование его в испытаниях строящихся станций в районах городов Воркута, Печора и следующих станций данного типа.

Брайткрайтц С.Г., д.т.н., старший научный сотрудник, 46 ЦНИИ МО РФ;

Небелов Е.В., к.т.н., почетный профессор АВН, главный эксперт НТК, Управление (строительства и развития системы применения беспилотных летательных аппаратов) ГШ ВС РФ;

Безденежных С.И., заместитель начальника исследовательского отдела, 924 ГЦ БпА МО РФ

### **Совершенствование порядка формирования требований при подготовке ТТЗ на создание комплексов с БЛА**

Сложно переоценить важность этапа формирования требований и разработки технического задания, ведь он оказывает большое влияние на все последующие этапы жизненного цикла разрабатываемой системы. Устранение ошибок, заложенных на этапе разработки тактико-технического задания (ТТЗ) на последующих этапах может потребовать значительных ресурсов.

Анализ причин срыва сроков выполнения ОКР [1, 2], при создании сложных систем вооружения свидетельствуют о том, что основной причиной затягивания и неисполнения работ являются некорректные требования, заданные в ТТЗ, не учитывающие готовность научно-технического задела. Это выражается в отсутствии к началу этапа конструирования необходимой элементной базы, материалов, комплектующих, технологий создания составных частей ВВСТ и пр.

Кроме того, проведенный органами военной науки анализ недостатков ТТЗ [4] выявил такие проблемы, как: двусмысленность требований, неполная спецификация, «разрастание» требований, пропуск неосновных задач, небрежное планирование, недостаточное вовлечение эксплуатанта.

Существующая система формирования и задания требований к новому вооружению затрагивает многие органы военного управления и описана в системе военных стандартов по разработке и постановке продукции на производство (СРПП ВТ). Следует отметить, что данный комплекс стандартов был сформирован в середине 1970-х годов, когда распределение полномочий и обязанностей осуществлялось исходя из целевого, но практически не ограниченного финансирования. Сейчас создание большей части военной техники проходит в новых рыночных

условиях, при которых на конкурсной основе заключаются контракты с фиксированной ценой.

Все это говорит о том, что новые условия, при которых происходит создание вооружения, требуют новых подходов к регулированию процесса формирования и задания требований.

Существующий порядок развития системы вооружения предусматривает, что обоснование требований к новому ВВТ производится путем сопоставления системы задач ВС РФ и системы вооружения, посредством которой предлагается решать эти задачи. Задачи вооруженных сил верхнего уровня (стратегические задачи ВС РФ) декомпозируются на ряд задач нижних уровней, а для решения каждой задачи на каждом уровне может быть сформировано соответствующее вооружение. Результаты этой работы, в части КБЛА, нашли отражение в таких концептуальных документах, как:

Концепция применения комплексов с БЛА государственной авиации на период до 2030 года;

Концепция применения робототехнических комплексов военного назначения на период до 2030 года;

Концепция строительства и развития системы применения БЛА.

Задачи детализируются до тех пор, пока не появится возможность количественно оценивать влияние боевых возможностей образцов вооружения на эффективность решения поставленных задач.

После определения необходимых и принципиально достижимых уровней ТТХ проверяют реальность требований, предъявляемых к уровням конкретных характеристик, и на этой основе формируют тактико-технические требования к рассматриваемым образцам. На основании этих данных довольствующие органы МО РФ, с привлечением видовых НИО, разрабатывают тематические карточки и справки обоснования на новые НИОКР.

Тематические карточки должны содержать минимально необходимый объем информации, необходимый для планирования создания нового комплекса вооружения. Обычно они содержат: наименование, цель ОКР, предназначение разрабатываемого (модернизируемого) образца ВВСТ, ожидаемые основные тактико-технические характеристики (для НИР – рассматриваемые вопросы) и обоснование необходимости. Обоснование необходимости разработки (модернизации) систем, комплексов и образцов ВВСТ включает:

оценку состояния однотипных образцов ВВСТ и прогноз их изменения на десятилетний период;

наличие аналога в государственной программе вооружения и предложения об оптимизации типовых ВВСТ исходя из задания предлагаемой НИОКР, а также использование ранее созданных работ;

расчетные данные о степени повышения эффективности решения конкретных задач Вооруженных Сил при перевооружении войск (сил) на разрабатываемый (модернизированный) образец ВВСТ;

оценку сроков проведения НИОКР и объемов серийных закупок предлагаемого к разработке (модернизации) образца ВВСТ с учетом показателей принятой государственной программы вооружения;

предпроектное состояние НИОКР, новизну предлагаемых решений и степень проработанности научно-технических и технологических проблем, предшествующих проекту;

степень готовности технологий, используемых в целях обеспечения разработки (модернизации) образца ВВСТ, и наличие необходимой для проведения ОКР (НИР) отечественной элементной базы;

состояние научной, производственной и испытательной базы предполагаемого головного исполнителя (либо группы исполнителей);

комплексный прогноз суммарных (с разбивкой по составляющим) затрат на закупку, эксплуатацию и ремонт разрабатываемого (модернизируемого) образца ВВСТ;

оценку степени готовности войсковой эксплуатационной и ремонтной базы для обеспечения функционирования парка разрабатываемого (модернизируемого) образца ВВСТ и прогноз затрат на ее совершенствование (при необходимости).

Состав справки-обоснования показывает, что перечень вопросов, охватываемых ею, весьма существенен и не может быть тщательно проработан в короткие сроки.

Часть вопросов, таких как новизна предлагаемых решений, степень готовности технологий, используемых в целях обеспечения разработки (модернизации) образца ВВСТ, наличие необходимой для проведения НИОКР отечественной элементной базы, оценка степени готовности войсковой эксплуатационной и ремонтной базы для обеспечения функционирования парка разрабатываемого образца ВВСТ, а также прогноз затрат на ее совершенствование фактически *не может*

*быть качественно проработан*, так как до начала ОКР облик и состав разрабатываемого образца ВВСТ не известен.

Вопросы, относящиеся к оценке состояния научной, производственной и испытательной базы предполагаемого головного исполнителя (либо группы исполнителей) могут быть рассмотрены только в контрактах с единственным исполнителем. В случае конкурсного определения исполнителя проработка данных вопросов затруднена.

Порядок же разработки тематической карточки и справки-обоснования нигде не закреплён. Кроме снижения качества проработки указанных в ней вопросов, отсутствие закреплённого порядка приводит в частности к трудностям при определении наличия аналога в государственной программе вооружения, разработке предложений об оптимизации типовых ВВСТ и использованию результатов ранее проведенных работ в интересах других довольствующих органов, так как обычно разработчик этих документов имеет доступ только к своему разделу Программы вооружения.

Наряду с требованиями по назначению, определяющие целевое использование создаваемого образца (изделия), его стратегическое или оперативно-тактическое предназначение, комплекс ТТТ включает общие тактико-технические требования к видам (типам) ВВТ, направленные на обеспечение приспособленности к условиям эксплуатации и боевого применения образцов.

Общие тактико-технические требования дополняют задаваемые в программах развития ВВТ основные тактико-технические характеристики образцов ВВТ, показателями и качественными требованиями, необходимыми для их создания. Особенность этих групп требований состоит в том, что они менее динамичны, чем требования по назначению, и обладают повторяемостью (общностью) не только внутри вида (типа) образцов, но и между видами (типами) ВВТ. Эта особенность указанных требований позволяет большинство из них нормировать в периодически пересматриваемых нормативно-технических документах системы ОТТ.

ОТТ по форме задания и содержанию в основном определяют условия эксплуатации и боевого применения комплексов с БЛА и направлены на обеспечение их приспособленности к природным условиям (окружающей среде и возможностям человека), стойкости к

воздействию оружия противника, а также на обеспечение различных видов совместимости. Указанные требования подразделяют на три основные группы.

Каждая группа требований имеет свои особенности. Эти особенности обусловлены различием в причинах (источниках) возникновения факторов (условий), характере их проявления, возможностях целенаправленного изменения.

В настоящее время общие технические требования к комплексам с БЛА нашли свое отражение в последней редакции ОТТ ВВС: ОТТ 4.1.1.1-2015 «Авиационные комплексы», ОТТ 4.1.2.1-2015 «Летательные аппараты», ОТТ 4.1.3.1-2015 «Силовые установки», ОТТ 4.1.4.1-2016 «Бортовые и наземные (корабельные) радиоэлектронные комплексы (системы)», ОТТ 4.1.8.1-2015 «Средства обеспечения полетов летательных аппаратов».

Тематические карточки, справки-обоснования и ОТТ, являются исходной точкой для разработки ТТЗ на ОКР по созданию комплекса с БЛА. Форма, порядок разработки, согласования и утверждения ТТЗ на ОКР по созданию комплексов с БЛА определены ГОСТ РВ 15.201-2003. Более детально порядок согласования ТТЗ установлен «Положением о порядке создания авиационной техники военного назначения и авиационной техники специального назначения», приказом Министра обороны РФ и ежегодных директивных указаниях по подготовке предложений в проект государственного оборонного заказа.

В соответствии с приказами МО РФ (рисунок 1) на разработку, согласование и утверждение ТТЗ выделяется всего три месяца. В «Положении о порядке создания авиационной техники...» определено, что проект ТТЗ на ОКР по разрабатывает Государственный заказчик с привлечением соответствующих НИО.

ТТЗ разрабатывается на основе материалов аванпроекта, если таковой разрабатывался, согласовывается с органами военного управления, с испытательным центром Государственного заказчика (в части возможности оценки заданных характеристик при испытаниях, организации испытаний и их материально-технического обеспечения).

ТТЗ на ОКР выполняемые на конкурсной основе, согласованию с разработчиками участниками конкурса не подлежат. В настоящее время большинство работ выполняется на конкурсной основе.

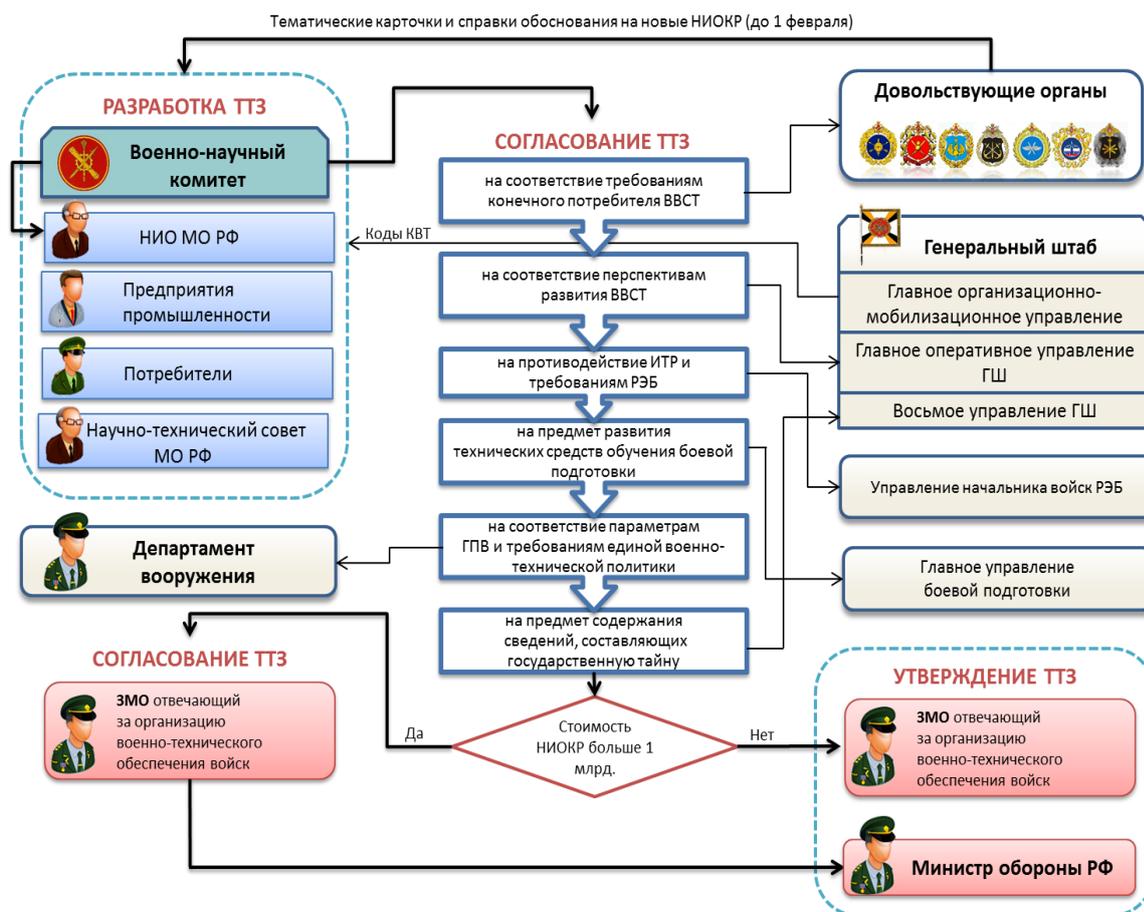


Рисунок 1 – Порядок согласования тактико-технического задания на опытно-конструкторскую работу

После разработки, ТТЗ одобренные на заседаниях Научно-технического совета Министерства обороны, направляются в довольствующие органы на согласование и для формирования предложений в проект Государственного оборонного заказа (ГОЗ).

Таким образом, тематические карточки и справки обоснования являются исходной точкой жизненного цикла требований к образцу ВВСТ. Дальнейшее развитие они получают в ходе разработки в ТТЗ, которое аккумулируется требования документов системы ОТТ, Государственных стандартов, научно-технических задел, полученный в других НИОКР, опыт эксплуатации и боевого применения аналогичных комплексов, опыт обучения на аналогичные комплексы, перспективы развития средств борьбы. В ходе НИОКР требования к комплексу могут корректироваться путем выпуска дополнений к ТТЗ. Однако с окончанием НИОКР жизненный цикл требований к образцу ВВСТ не

заканчивается, они находят свое отражение в Технических условиях и в дальнейшем так же могут изменяться.

Несмотря на то, что ГОСТ РВ 15.201-2003 допускает корректировку требований ТТЗ в ходе выполнения ОКР, правовые органы Минобороны России, трактуют изменения в ТТЗ (особенно сроки проведения этапов), как изменение существенных условий контракта, что запрещено существующим законодательством.

По сути, разработка ТТЗ в отдельной НИР (аванпроекте) призвана переложить с заказчика на исполнителя формулирование и обоснование облика изделия, конкретных ТТХ, сроков и объемов работ. Заказчик в техническом задании на НИР (аванпроект) делает акцент на цели и задачах, которые будут решаться новым изделием.

*Не исключая установившегося порядка разработки и согласования ТТЗ,* предлагается частично распространить ответственность за формулирование тактико-технических требований на исполнителя ОКР. Для этого считать существенным условием контракта только первый и второй раздел ТТЗ по ГОСТ РВ 15.201-2003: «Наименование, шифр ОКР, основание, исполнитель и сроки выполнения ОКР» и «Цель выполнения ОКР, наименование и индекс изделия». Кроме того, целесообразно: ТТЗ дополнить обязательным разделом «Функциональные требования», а сроки выполнения работ рассматривать как условие контракта, определяемое по результатам конкурса (можно устанавливать предельный срок).

При формировании ТТЗ заказчику необходимо делать упор на формирование цели, перечня задач и функций, которые должны быть реализованы изделием (вместо конкретных ТТХ). Проработка и обоснование конкретных тактико-технических требований, состава изделия должна производиться исполнителем одновременно с приемкой этапов ОКР и утверждаться комиссией заказчика.

Для этого в ГОСТ РВ 15.201-2003 в п. 5.1.3 необходимо ужесточить требование и указывать решаемые задачи и предполагаемые варианты применения для всех создаваемых изделий. В структуру ТТЗ необходимо добавить раздел «Обязательные функциональные требования», в котором указывать все не подлежащие последующему пересмотру функции создаваемого изделия.

В ГОСТ РВ 15.203-2001 целесообразно внести положения о том, что при приемке комиссией заказчика этапов эскизного, технического

проекта и этапа разработки РКД, исполнитель представляет обоснование уточнений и изменений ТТЗ. При согласии комиссии заказчика происходит автоматическая корректировка ТТЗ и переход к рассмотрению остальных документов. В случае отказа комиссии в корректировке отдельных требований, исполнитель устраняет замечания соответствующего этапа установленным порядком.

Другими словами, изменение статуса ТТЗ позволит считать контракт выполненным, если предприятием-исполнителем будет показано и доказано, что разработанные решения позволяют эффективно выполнить поставленные заказчиком цель и задачи. В это же время, заказчику актуально смещение акцента с формулирования технических характеристик, на задачи, которые должно решать создаваемое изделие.

В перспективе целесообразно рассмотреть возможность внедрения *эволюционно-технологического подхода* при разработке комплексов с БЛА [3, 5]. Ключевыми этапам и этого подхода являются реализация подмножества требований к созданию образца ВВТ и их последовательное доведение «до ума». В ходе каждой итерации образцы дорабатываются на основе новых технологий и, при необходимости, добавляются функциональные возможности.

Комплексы с беспилотными летательными аппаратами, как и другие робототехнические системы, обладают чертами технологии, для которой эволюционно-технологический подход наиболее актуален, это: быстрое изменение составляющих изделие технологий; постепенное изменение требований в ходе эксплуатации; модульность и открытая архитектура конструкции; простота тестирования сделанных изменений.

При таком подходе реализуется технологии управления требованиями которая позволяет производить учет нереализуемых требований, ранжирование требований по важности, отслеживать критические изменения технологий и функций, которые должны быть реализованы в изделии. Кроме того, создается банк требований, который используется при разработке модификаций и изделий выполняющих схожи задачи.

Эволюционно-технологический подход к созданию ВВТ основан на следующих принципах: задание требований к ВВТ, разнесенных по времени; модульное проектирование с идеологией открытой архитектуры и руководство правилом «проектируй под возможные

изменения в будущем»; учет изменений базового изделия; максимальное использование имеющихся научно-технического и производственно-технологического заделов (новых военных и производственных технологий, предметов снабжения, материалов, веществ).

#### Список литературы

1. Дышкантюк, А.В., Киселев, В.А., Худяков, Г.Б. и др. Обоснование перспектив развития системы вооружения для решения задач отражения агрессии на О (М) ТВД на период до 2025г // СПб ВМА им. Н.Г. Кузнецова 2010г

2. Буренок В.М., Костенко А.А., Лавринов Г.А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. – М.: Граница, 2007. – 728 с.

3. Безденежных С.И. Предложения по совершенствованию порядка проведения опытно-конструкторских работ при создании высокотехнологичной продукции. – Выпуск № 4(169), М.: Межотраслевая информационная служба ФГУП «ВИМИ», 2014 г.

4. Дышкантюк А.В. Управление жизненным циклом ВВТ ВМФ в современных условиях. //ВУНЦ ВМФ Санкт-Петербург – 2011

5. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Эволюционно-технологический подход к созданию перспективного вооружения // Военный парад. – 2006. - № 5-6.

6. Артеменко В.Б., Безденежных С.И. Обзор системы оборонного заказа МО США // Вооружение и экономика № 1 (26). - 2014 г.

## **СЕКЦИЯ 2 «ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ С БЛА»**

Агамалян В.А, генеральный директор, ООО НТЦ «ЮРИОН»;  
Винницкий С.Н., инженер, ООО НТЦ «ЮРИОН»;  
Зинченко М.Ю., инженер, ООО НТЦ «ЮРИОН»

### **Пути повышения эффективности применения беспилотных летательных аппаратов за счет реализации в терминалах связи развед- и помехозащищенных режимов работы**

Как показывает современный уровень развития беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и средств противодействия им, одной из наиболее важных проблем их боевого применения является обеспечение скрытого и устойчивого управления БЛА (единичными или группами) в условиях радиоразведки и активного радиоэлектронного противодействия противника.

Специалисты ООО «ЮВС Авиа» (разработка и производство малогабаритных БЛА) и его партнера ООО НТЦ «ЮРИОН» (разработка и производства телекоммуникационного оборудования) в качестве основного направления повышения качества управления БЛА предлагают создание единой телекоммуникационной среды для передачи всех типов информации (управления, телеметрия, видео и т.п.). Аппаратно-программную основу данной среды должны составить средства радиосвязи (терминалы, модемы), обладающие свойствами энергоэффективности, развед- и помехозащищенности.

В части обеспечения скрытности связи, все современные БЛА можно рассматривать как объекты электромагнитного излучения их аппаратуры связи (остальное радиоэлектронное оборудование незначительно влияет на радиоэлектронный «фон» объекта).

Предлагаются следующие основные направления повышения скрытности:

- применение сигналов с пониженной мощностью излучения на частоте (в полосе частот) – позволяет снизить электромагнитную доступность источника излучения средствам разведки (сигналы с низкой спектральной плотностью не регистрируются существующими средствами радиотехнической разведки, воспринимая их, как незначительное повышение фонового шума);
- ограниченное время работы на одной частоте (группе частот) в режиме ППРЧ – позволяет снизить вероятность успешных обнаружения и обработки сигналов средствами разведки;
- применение унифицированных средств связи – снижает признаковую доступность (устраняет демаскирующий признак)

источников излучения средствам разведки;

- применение средств криптографической защиты – позволяет скрыть от противника структуру, интенсивность и содержание информационного обмена.

В части обеспечения устойчивости связи, телекоммуникационная среда системы управления БЛА является потенциальным объектом радиоэлектронного воздействия (радиоподавления, перехвата, блокирования) противником.

Предлагаются следующие направления повышения устойчивости:

- организацию ее как распределенной самоорганизующей сети (типа MESH) произвольной структуры – позволяет повысить структурную живучесть направлений связи за счет организации обходных маршрутов;

- применение сигналов с быстрой ППРЧ в широком диапазоне частот – не позволяет системе РЭБ противника эффективно применять прицельные радиопомехи против радиолиний, повышает чувствительность приемников и уменьшает влияние замираний при многолучевом распространении волн;

- применение помехоустойчивого кодирования в радиосредствах – позволяет «восстанавливать» информационный поток после электромагнитного воздействия (непреднамеренного или преднамеренного), даже после «повреждения» большей части сигнала;

- применение адаптивных (по виду модуляции, мощности, пропускной способности) режимов работы радиосредств – позволяет, в сочетании с помехоустойчивым кодированием, обеспечивать работу сети или ее фрагментов с учетом складывающейся радиоэлектронной обстановки, в том числе в условиях активного применения систем РЭБ (как своих, так и противника);

- применение децентрализованной системы синхронизации сети с отсутствием синхроимпульсов в структуре сигнала, без коррекции времени по навигационным спутникам и обязательных высокоточных встроенных часов в составе радиосредств – позволяет устранить угрозу «умного» воздействия на канал обратной связи и центры управления синхронизацией сети;

- применение средств криптографической защиты – позволяет защитить радиолинии от навязывания ложной информации и блокирования.

Все перечисленные выше меры по повышению скрытности и устойчивости связи при управлении БЛА (группировкой БЛА) могут быть реализованы в рамках существующих либо находящихся на завершающихся стадиях разработки технологий связи.

Ниже приведены технологии, применяемые ООО НТЦ «ЮРИОН» при создании комплексов средств двойного назначения. Область применения комплексов - автоматизированные системы (подсистемы) управления и связи различного назначения (специального и гражданского) с изменяющейся топологией сети.

#### 1. Самоорганизующиеся сети.

В основе самоорганизации сети используется технология на базе Mesh-сети. Точки доступа, работающие в такой сети, выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других точек доступа той же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающегося и самовосстанавливающегося сегмента сети. Сети подобного типа позволяют создавать зоны сплошного информационного покрытия большой площади, являются масштабируемыми и устойчивыми к потере отдельных элементов. Передача информации внутри сети осуществляется на основе IP-технологии, что позволяет осуществлять обмен практически любым видом данных.

Сеть имеет возможность выстраивания маршрутов передачи информации по цепочке из нескольких ретрансляторов. Основа начальной маршрутизации – непрерывное ширококвещательное оповещение одним узлом всех узлов, которые способны принять от него радиосигнал для оценки качества передачи высокоскоростных данных. Это обеспечивает рассылку служебной информации и оценку качества радиоканалов между терминалами. В последующем, каждым терминалом осуществляется самостоятельное формирование и постоянное обновление таблицы связности сети, что служит основой динамической маршрутизации. Для обеспечения возможности постоянного изменения маршрутов (общее число маршрутов в сети за час может быть десятки и сотни) используется динамическая маршрутизация.

Для организации информационного обмена между источником и получателем информации в интересах БЛА и пользователей (получателей), организуются виртуальные каналы. Причем, данные каналы обеспечивают в реальном масштабе времени:

- низко- и среднескоростные (до 300 кбит/с): управление БЛА и полезной нагрузкой (в том числе получение данных телеметрии); телефонные переговоры и файловый обмен между АРМ;

- высокоскоростные (до 10 Мбит/с): доведение потоковой информации от БЛА и полезной нагрузки до потребителей (фото- и видеoinформации, данные от РЛС, датчиков и т.п); видеоконференции между АРМ.

#### 2. Быстрое ППРЧ и высокочувствительные приемники.

Быстрое ППРЧ (не менее 20 тыс. скачков в секунду) на всем диапазоне частот обеспечивает минимальное время непрерывного излучения на одной частоте (микросекунды) и делает практически невозможной постановку противником прицельной помехи «вслед» по каждому ППРЧ-сигналу, значительно снижает эффективность одиночных и широкополосных заградительных помех. Режим быстрого ППРЧ, также, способствует повышению чувствительности и уменьшению влияния замираний.

Для обеспечения связи между БЛА и/или наземными станциями управления на большом расстоянии (до сотни километров) применяются приемники с высокой чувствительностью (-95...-130 дБм). При этом, качество связи зависит от выбора типа модуляции, канального и помехоустойчивого кодирования.

Альтернативные способы повышения дальности связи ограничены целевым назначением терминалов радиосвязи, устанавливаемых на борту БЛА: повышение мощности передатчика – энергоемкостью бортовой сети электропитания малогабаритных БЛА; применение более эффективных крупноразмерных антенн – габаритами самого БЛА и их влиянием на его аэродинамические свойства.

### 3. Режимы адаптации, помехоустойчивое кодирование.

Адаптивные алгоритмы совместно с избыточным кодированием кодом Рида-Соломона обеспечивают «гибкую» подстройку системы, как к решаемым задачам, так и к складывающейся помеховой обстановке.

Основная идея адаптации заключается в том, чтобы адаптировать мощность излучения, скорость передачи данных, схему модуляции и/или скорость кодирования канала к условиям радиоканала связи, так чтобы обеспечивалась целостность информации. Оптимизация производительности системы достигается путем минимизации запаса помехоустойчивости.

В наихудшем случае, скорость передачи информации снижается до минимума, но не допускается разрыв канала. Применение помехоустойчивого кодирования позволяет сохранять устойчивость сети при 70% поврежденных частот в пакете.

### 4. Децентрализованное управление и синхронизация сети.

Синхронизация - основа всех цифровых систем связи, самое сложное и одновременно самое слабое их звено, которое в значительной степени определяет работоспособность и помехоустойчивость сети.

«Самосинхронизация» сети или ее отдельных кластеров (например, удаленных) выполняется с использованием методов грубой и точной синхронизации терминалов, причем, реализованных без применения синхроимпульсов.

Передаваемый поток данных является псевдослучайным и все пакеты равноценны и равновероятны. Подстройка частот тактовых генераторов различных радиостанций осуществляется во время сеансов связи, а при их отсутствии частоты сохраняются в течение суток. После выхода на связь синхронизация полностью восстанавливается до абсолютного состояния. Этим обеспечиваются устойчивость к внешним воздействиям, отсутствие необходимости использования высокостабильных встроенных часов, внешних сигналов навигационных спутников и традиционных сигналов синхронизацию.

#### 5. Применение СКЗИ

Модули СКЗИ включаются в состав терминалов для решения следующих основных задач:

- криптографической защиты информационного обмена (по протоколу IP) между бортовыми и наземными терминалами связи;
- аутентификации источников данных;
- контроля целостности пакетов данных – имитозащиту;
- создания криптографически защищенных туннелей (виртуальных каналов);
- выравнивания трафика, генерации ложного трафика, маркировки трафика (поля ToS) и т.п.;
- реализации механизма QoS на сетевом уровне (задание приоритета и маркировка трафика);
- устойчивого функционирования в составе системы генерации и распределения ключевых документов;
- регистрации событий безопасности;
- контроля целостности программного обеспечения;
- защиты от НСД (в том числе при вскрытии корпуса).

Применение модулей СКЗИ позволяет скрыть от противника структуру сети и трафика, принадлежность терминалов связи, защитить (в соответствии с заданным классом безопасности) каналы управления БЛА и информацию полезной нагрузки от просмотра, перехвата управления и блокирования.

Таким образом, в рамках создания телекоммуникационной среды для автоматизированной системы управления БЛА уже в ближайшее время может быть разработан комплекс средств связи, имеющий в своем составе бортовые и наземные развед- и помехозащищенные терминалы связи, обеспечивающие безопасное развертывание и функционирование адаптивной и масштабируемой сети связи в условиях воздействия средств РЭБ.

Анисимов А.А., к.в.н., профессор, Московский пограничный институт (ФСБ России)

### **Рекомендации по методике подготовки сотрудников-операторов беспилотных летательных аппаратов в органах государственной безопасности.**

В основу любой методики подготовки положены способы, приемы и системы достижения определенных целей, а именно, приобретение сотрудником устойчивых знаний, умений и навыков в подготовке к эксплуатации и непосредственному применению БАС с достижением конечного результата: получения информации, или противодействия получения таковой противником, в сфере безопасности государства.

В первую очередь необходимо определить границы результатов, которых мы можем достичь.

Здесь видно два направления:

- первоначальная (базовая) подготовка;
- повседневная подготовка (закрепление и совершенствование).

Уже не секрет, что для сотрудника-оператора БЛА обеспечивающего вопросы безопасность государства, недостаточно только знаний техника и программиста (пользователя ПЭВМ) для успешного решения задач и вопросов разведывательной и контрразведывательной деятельности, с применением БАС.

Мы видим здесь несколько направлений:

1. Основы профессионального лётного образования.
2. Специальной технической подготовки.
3. Основ применения современных компьютерных средств.

Раскроем составляющие, первого направления. Здесь необходимо включить следующие дисциплины (входящие в базовую учебную программу современного лётного ВУЗ):

- воздушное законодательство;
- безопасность полётов;
- аэродинамика;
- воздушная навигация;
- конструкция летательного аппарата и силовой установки;
- принцип работы спецоборудования (полезной нагрузки), (оптического, радиолокационного, инфракрасного спектра, радиотехнической разведки, радиоэлектронной борьбы и т.д.),
- основ тактики применения разведывательной авиации и воздушной разведки (поиск, опознание цели и способы достижения этого, эффективное применение полезной нагрузки БЛА (спецсредств

воздушной разведки и контрразведки));

- метеорология;
- орнитология;
- основы жизнедеятельности в экстремальных условиях.

Таким образом, мы выходим на уровень подготовки пилота-оператора, основанного на курсе подготовки лётчиков РА.

Следовательно, возникает необходимость летной практики, нескольких полетов на специально оборудованном самолете (ВТА) или вертолёте, с несколькими рабочими местами для визуальной, РЛО и ИК разведки, и отработки визуальной и другой ориентировки в процессе управления БЛА.

Ну, а вопрос огневого применения БАС, находится в особой области реализации подготовки, сотрудников-операторов беспилотников.

Таким образом, подводя итог моего краткого доклада, основанного на личном боевом опыте, опыте лётной работы в РА и систематизированном в монографии и других исследованиях, можно определить следующее:



Учет всех вышеизложенных элементов позволят обеспечить решение вопросов эффективности применения БЛА сотрудниками – операторами БАС на высоком уровне в интересах безопасности государства.

Асташкин Д.Г., старший научный сотрудник, Центр исследований военного потенциала зарубежных стран

### **Концептуальные взгляды командования ВВС США на развитие беспилотной авиации**

Беспилотная авиация получает все большее распространение в ВВС США. Повышенное внимание командования американских ВВС к наращиванию численности и планированию масштабного применения БЛА обусловлено рядом факторов, основными из которых являются возможность замены пилотируемой авиации при решении ряда боевых и обеспечивающих задач, кардинальное сокращение уровня потерь среди летного состава, существенное снижение стоимости и трудоемкости изготовления и эксплуатации образцов БЛА по сравнению с пилотируемыми. По мнению руководства ВВС, указанные преимущества позволяют сохранить лидирующие позиции Соединенных Штатов в области разработки и применения новых образцов авиационной техники, повысить боевые возможности авиационных подразделений, продолжать удерживать превосходство американских ВВС в воздухе.

Концептуальные основы развития беспилотной авиации ВВС как составной части системы робототехнических комплексов, создаваемых в интересах Пентагона, раскрываются в **«Плане комплексного развития робототехнических систем министерства обороны США»<sup>1</sup>** и конкретизируются в документах, разрабатываемых министерством ВВС.

Одним из первых документов американских военно-воздушных сил, детально раскрывшим перечень и содержание основных мероприятий, связанных с массовым оснащением ВВС беспилотными летательными аппаратами на долгосрочную перспективу, был **«План развития беспилотной авиации ВВС США на 2009 - 2047 годы»<sup>2</sup>**, изданный в 2009 году. В данном документе приводилось деление БЛА по классам и группам, используемое по настоящее время.

В соответствии с принятой в ВВС США классификацией, БЛА по своим тактико-техническим характеристикам подразделяются на пять групп, формирующих два класса: **дистанционно пилотируемые летательные аппараты<sup>3</sup>** (Remotely Piloted Aircraft – RPA), к которым относятся оперативные и стратегические БЛА, и **малоразмерные**

---

<sup>1</sup> Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038 / 2012.

<sup>2</sup> United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047 / 2009.

<sup>3</sup> Англо-русский словарь сокращений по аэрокосмической и военной технике / Н.Н.Новичков, И.В.Поляков / ИА АРМС-ТАСС / М – 2009.

беспилотные авиационные системы<sup>4</sup> (Small Unmanned Aircraft Systems – SUAS), включающие тактические БЛА (см. таблицу).

Таблица – Классификация БЛА, принятая в ВВС США

Класс	Группа	Масса, кг	Высота полета, м	Скорость, км/ч	Образец БЛА
Малоразмерные беспилотные авиационные системы (тактические БЛА)	1	0-9	до 370	до 185	 RQ-11B «Равен»  RQ-12A «Уасп»
	2	9,5-25	до 1070	до 465	 «Скэн Игл»
	3	до 600	до 5500	до 465	 RQ-21
Дистанционно пилотируемые летательные аппараты (оперативные и стратегические БЛА)	4	более 600	до 5500	более 465	 MQ-1B «Предатор»
	5	более 600	более 5500	более 465	 MQ-9A «Рипер»  RQ-4B «Глобал Хок»

Необходимо отметить, что американские специалисты, давая название классу *Remotely Piloted Aircraft*, отталкивались от слова *remoteness*, что означает удаленность, удаленный район, имея в виду, что БЛА этого класса можно управлять из любой точки земного шара. В данной статье будет использован близкий к прямому переводу и наиболее распространенный термин – дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА). Вместе с тем, российские специалисты при переводе этого термина, описывая класс ДПЛА, могут употреблять

<sup>4</sup> См. там же.

и другую трактовку, например, дистанционно управляемые летательные аппараты или БЛА большой продолжительности полета.

На современном этапе роль и место БЛА в военных действиях, динамика изменения их возможностей, доли использования при выполнении боевых и обеспечивающих задач, а также изменение численности в формированиях ВВС находят отражение в документах «Основные направления развития дистанционно пилотируемых летательных аппаратов на 2013-2038 годы»<sup>5</sup> и «План развития малоразмерных беспилотных авиационных систем ВВС США на 2016-2036 годы»<sup>6</sup>.

Взгляды руководства ВВС США, изложенные в данных документах, свидетельствуют о возрастающей роли БЛА в решении задач вооруженной борьбы. Отмечается особая важность совершенствования применения БЛА совместно с пилотируемыми летательными аппаратами. Рассматривается возможность принятия в долгосрочной перспективе на вооружение БЛА, имеющих значительную степень автономности, под которой понимается способность самостоятельно оценивать обстановку и эффективно реагировать на ее изменение. Обосновывается необходимость разработки современных ударных БЛА, не уступающих по боевым возможностям пилотируемым самолетам.

К основным требованиям, предъявляемым к таким аппаратам относят низкую радиолокационную заметность, больший, чем у современных тактических истребителей боевой радиус действия, повышенную маневренность, околожвуковую скорость, высокую прочность планера, модульность конструкции, возможность нести различную полезную нагрузку, модернизационный потенциал, а также невысокие стоимостные показатели серийного производства и технического обслуживания.

Анализ результатов применения БЛА в военных конфликтах конца XX и начала XXI вв. показывает высокую эффективность применения БЛА при решении боевых и обеспечивающих задач. За последние годы интенсивность применения БЛА в операциях ВС США многократно увеличилась. В частности, во время действий ВВС США в Афганистане с 2011 по 2016 год доля применявшихся авиационных средств поражения, носителями которых были БЛА, увеличилась с пяти до 61%, а в ходе операции ВС США и их союзников «Непоколебимая решимость» против ИГИЛ в Сирии и Ираке с августа 2014 по июнь 2016 года БЛА MQ-1 «Предатор» и MQ-9 «Рипер» ВВС США

---

<sup>5</sup> The USAF Remotely Piloted Aircraft (RPA) Vector: Vision and Enabling Concepts: 2013–2038 / 2014.

<sup>6</sup> Small Unmanned Aircraft Systems (SUAS) Flight Plan: 2016-2036 / 2016.

совершили более 9 100 боевых вылетов, применив около 3 400 ед. высокоточного оружия по 1 800 объектам.

Эффективность применения БЛА формирует тенденцию наращивания их численности. Так, за последние 15 лет численность ДПЛА возросла с 10 до 441 ед., а объем финансирования закупок данных образцов увеличился в разы (рисунок 1). В соответствии с планами в среднесрочной перспективе их численность увеличится более чем на 75 ед., что должно позволить при необходимости осуществлять одновременное круглосуточное патрулирование БЛА по 60 маршрутам в различных регионах мира.

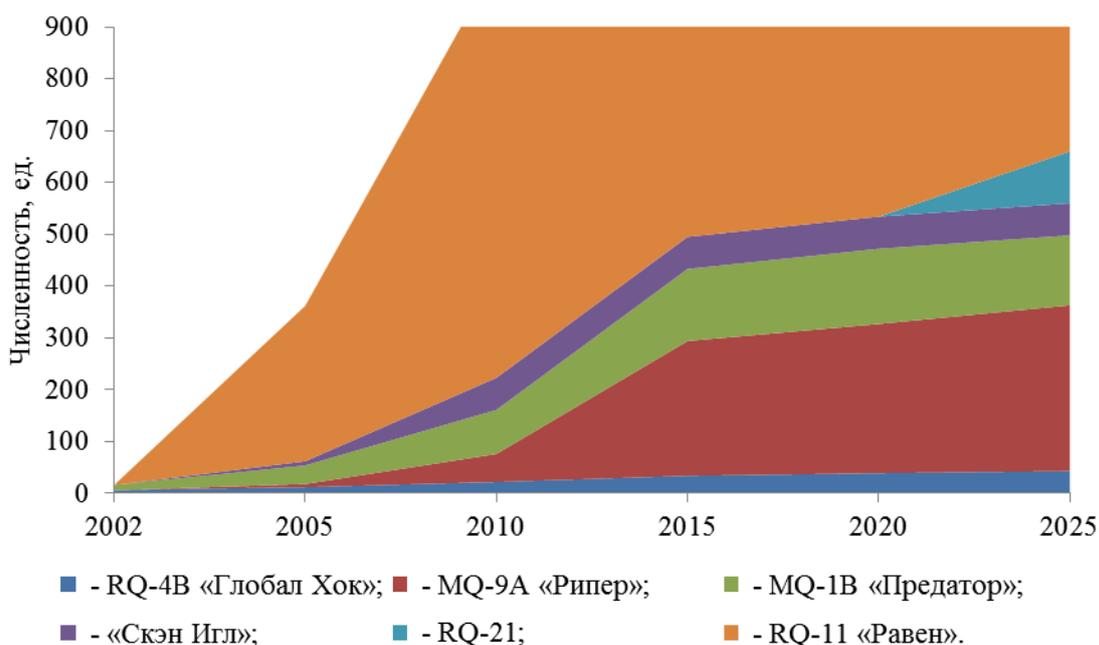


Рисунок 1 – Изменение численности БЛА в ВВС США

Вместе с тем в ходе развития беспилотной авиации командование ВВС сталкивается с рядом проблем, основной из которых в настоящее время является нехватка квалифицированных кадров, в первую очередь, операторов ДПЛА. В настоящее время вакантными остаются около 250 должностей, притом, что их общая численность составляет более полутора тысяч.

В целях компенсации некомплекта специалистов в масштабах ВВС ведутся работы по привлечению на должности операторов БЛА членов экипажей, находящихся в запасе и признанных негодными для управления самолетом по состоянию здоровья. Проводится масштабная работа, направленная на повышение мотивации личного состава к обучению и прохождению службы на должностях операторов. По мнению руководства ВВС США, расширение сети и емкости курсов обучения операторов БЛА, а также повышение престижности данной

профессии позволит повысить набор кандидатов и увеличить ежегодный выпуск операторов БЛА до 384 чел.<sup>7</sup>

Концептуальные взгляды командования ВВС США на применение беспилотной авиации отражают важность разработки теоретических положений, продолжения финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на определение роли и места БЛА в войнах и вооруженных конфликтах будущего, обоснование их оптимальной номенклатуры и количества в структуре авиационных формирований.

Серьезное внимание уделяется уточнению существующих и обоснованию новых подходов к применению БЛА. Учитывая текущее состояние и основные направления развития беспилотной авиации, а также содержание действий, в ходе которых планируется использование БЛА в будущем, их применение будет осуществляться как одиночно, так и в составе групп.

В настоящее время одиночная форма использования БЛА является основной. Однако групповое применение получает все большее распространение.

В соответствии со взглядами американских военных специалистов, групповое использование БЛА может носить совместный, автономный и интегрированный характер.

*Совместное* применение характеризуется одновременным функционированием в составе подразделения (группы) личного состава и БЛА (manned-unmanned teaming). Планируется, что БЛА может выполнять задачу под непосредственным контролем оператора или пилота самолета либо самостоятельно.

*Автономное* выполнение задач подразумевает действия группы БЛА одного или нескольких типов. Планирование деятельности группы и ее элементов, распределение и контроль выполнения задач осуществляется «БЛА-руководителем». Управляющая роль человека сведена к минимуму, однако функция управления группой БЛА человеком сохраняется.

*Интегрированное* применение БЛА – это согласованные по месту и времени действия БЛА, принадлежащих различным видам вооруженных сил, действующих по единому плану в целях достижения цели вооруженного противоборства. Реализацией данной формы может рассматриваться «интегрированная операция БЛА».

Выбор формы и конкретного способа применения БЛА осуществляется командованием исходя из условий текущей обстановки, наличия беспилотных аппаратов, а также с учетом

---

<sup>7</sup> Аналогичный показатель в 2015 г. составлял 191 чел.

специфики применения образцов БЛА, относящихся к той или иной группе.

**Применение БЛА первой группы** (нано-, микро- и мини-БЛА) осуществляется в интересах получения разведывательных данных в интересах группы или отдельного военнослужащего при ведении боевых действий на урбанизированной территории.

Планируется, что данные беспилотные аппараты будут способны эффективно вести разведку снаружи или внутри помещений. Долетев до указанной точки сбора данных и закрепившись в удобном месте, БЛА данного типа смогут осуществлять съемку и передачу потокового видео высокого качества. Продолжительное функционирование будет обусловлено использованием в конструкции БЛА устройств с низким уровнем электропотребления, возможностью пополнения энергетического запаса за счет использования солнечных батарей и/или дистанционной подпитки от бытовых электросетей.

Наравне с этим активно ведутся исследования в области создания киборгов-насекомых (пчелы, осы, бабочки и пр.) путём вживления в их организм сверхминиатюрных электронных передатчиков. С помощью таких устройств, предполагается осуществлять разведку и поиск групп противника, а также избирательно поражать, например, сильнодействующими ядами определенных людей, «электронный портрет» которых заранее вводится в память этих роботов. Применение подобных роботов наиболее характерно для разведывательных и специальных подразделений.

**БЛА второй группы**, к которой относятся мобильные переносные БЛА с радиусом действия до 10 км, в ВВС США применяются в основном для охраны авиабаз, станций предупреждения о ракетном нападении, стартовых площадок МБР и наблюдения за линией соприкосновения войск (сил). Они способны обнаружить, идентифицировать, а в случае необходимости уничтожить объект, представляющий угрозу.

Осуществляя контроль наземной и воздушной обстановки посредством бортовой аппаратуры, БЛА этой группы могут вести химическую и радиационную разведку, фиксировать места падений боеприпасов, определять ущерб, причиненный объектам авиабазы после нанесения по ним ударов, пригодность их для эксплуатации, а также объем восстановительных работ.

Для осуществления охранных функций руководящими документами предусмотрен ряд задач, основными из которых являются патрулирование территории и периметра объекта для защиты от несанкционированного проникновения, осуществление быстрого реагирования на сигналы о нештатных ситуациях, сопровождение

обслуживающего персонала пусковых комплексов МБР и обеспечение их охраны во время работы.

**БЛА третьей группы** в настоящее время в ВВС США не применяются. Их разработка, по мнению командования ВВС, считается одним из основных направлений развития малоразмерных беспилотных авиационных систем. Многоцелевые аппараты этого типа будут сочетать в себе преимущества второй группы по стоимости, простоте эксплуатации, времени развертывания и условиям запуска, а возможности по полезной нагрузке и высоте полета будут сопоставимы с БЛА четвертой и пятой группы. БЛА третьей группы планируется использовать для решения задач эвакуации раненых, доставки материально-технических средств, продовольствия, медикаментов и другого имущества в условиях блокирования путей доставки. Это будет особенно актуальным в ходе проведения небольших военных операций, которые часто будут проходить в условиях ограниченных возможностей по доставке грузов потребителю традиционным способом. Помимо решения задач обеспечения они будут применяться как ударные БЛА, имея возможность оснащения современными высокоточными авиационными средствами поражения.

Учитывая особенности применения вооружения и военной техники в будущем, американскими военными специалистами делается вывод о приоритетности создания и приобретения БЛА, не требующих протяженной взлетно-посадочной полосы, способных осуществлять взлет и посадку на неподготовленной местности и с поверхности воды.

К наиболее важным направлениям развития малоразмерных беспилотных авиационных систем, по мнению военного руководства США, относится создание системы заблаговременного вскрытия объектов противника, в том числе системы ПВО, путем массированного применения мини-БЛА со значительной степенью автономности. По оценке американских экспертов, данная концепция позволит не только повысить эффективность применения авиационных средств поражения, но и значительно снизить боевые потери авиации.

В этих целях управление перспективных исследований МО США (ДАРПА) приступило к реализации проекта в рамках программы «Гремлинз» (Gremlins) по созданию полуавтономных БЛА воздушного базирования, массовый запуск которых предусмотрен с борта самолетов различных типов.

После запуска «гремлины» должны группироваться по принципу «роя», представляющего собой группу мини-БЛА объединенную в локальную самоформирующуюся сеть. Все мини-БЛА группы предполагается оборудовать различными датчиками, данные с которых будут поступать на БЛА управления через БЛА-ретрансляторы, что позволит своевременно обрабатывать данные и передавать

информацию о полной картине оперативной обстановки тем наземным и воздушным силам, для которых в настоящий момент она наиболее актуальна. При этом передача управляющих команд и высокоскоростной обмен информацией о взаимном положении БЛА в группе будет обеспечен благодаря использованию перспективной системы построения боевого порядка.

Согласно замыслу специалистов ДАРПА, по окончании выполнения задания БЛА должны возвращаться на самолет-носитель посредством специальной системы подхвата беспилотных летательных аппаратов в воздухе.

Использование таких БЛА планируется ограничить 20 вылетами. Время, необходимое на подготовку к следующему заданию, ориентировочно составит около 24 часов.

Один из вариантов тактики применения подразумевает их сброс вне зоны обнаружения ПВО противника для выполнения разведывательных задач. После получения данных о результатах применения БЛА самолет-носитель продолжит выполнять задачи, а БЛА будет принят на борт специально оборудованного транспортного самолета (планируется дооснащение самолета С-130 без значительных конструктивных изменений).

В дальнейшем планируется применять БЛА данного типа в качестве высокоточных средств поражения. В этом случае БЛА, оснащенный боевой частью и радиолокационной системой наведения, будет выполнять полет по заданной программе до захвата радиолокационного излучения цели. После захвата цели БЛА входит в пикирование и поражает цель. При срыве захвата (РЛС выключилась) БЛА может перейти в режим патрулирования с последующим повторением атаки.

Особую роль данная технология будет играть при преодолении ПВО. Этому будет способствовать малая радиоэлектронная заметность и возможности маневрирования при выполнении противоракетных и противозенитных маневров. Кроме того, БЛА будут «вызывать огонь на себя», вскрывая тем самым расположение средств ПВО.

Способ «массовый налет БЛА с плотностью, превышающей возможности средств ПВО по его отражению», вероятнее всего, приведет к дезорганизации системы управления ПВО противника и перерасходу ЗУР. Это может создать условия для успешного огневого поражения объектов системы ПВО противника.

Во время массового налета для борьбы с самолетами-перехватчиками планируется применение части БЛА в качестве средств РЭБ и удаленных ретрансляторов. Такие перспективные способности БЛА, с одной стороны, будут сокращать возможности бортовых РЛС самолетов противника, а с другой – увеличивать дальность

обнаружения и применения авиационных средств поражения дружественных самолетов.

По мнению американских специалистов, оптимальное сочетание пилотируемой и беспилотной авиации при решении задачи прорыва (подавления) ПВО противника, вероятнее всего, позволит обеспечить пролет зоны ПВО для нанесения ударов в глубине обороны противника с наименьшими потерями (рисунок 2). Немаловажное значение массовый налет БЛА будет иметь при непосредственной поддержке наземных сил. По замыслу руководства ВВС США, боевые возможности наземных подразделений должны существенно возрасти за счет использования единой информационно-коммуникационной сети.

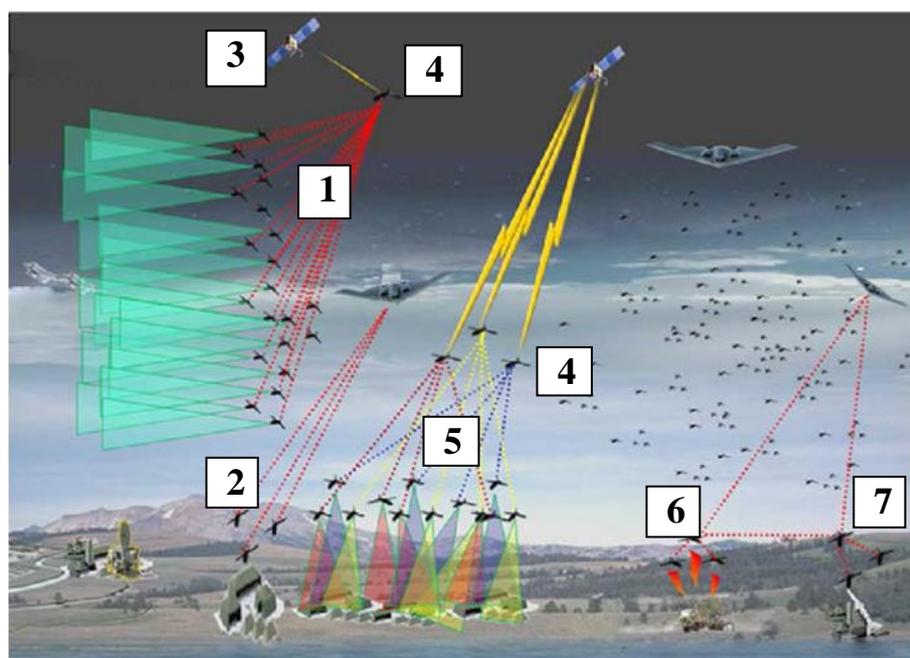


Рисунок 2 – Действия групп БЛА в составе эшелона прорыва ПВО противника:

- 1 – группа противодействия авиации ПВО; 2 – применение высокоточных авиационных средств поражения; 3 – ИСЗ связи и управления;
- 4 – БЛА-ретранслятор; 5 – группы разведки (разведка ведется в нескольких диапазонах спектра электромагнитных волн); 6 – группа противодействия РЛС;
- 7 – группа поражения ПВО

Имея возможность получать информацию с любого БЛА, находящегося в нужном районе, командир непосредственно на поле боя будет способен использовать ее для принятия решения или даже брать на себя управление БЛА с последующим применением его в качестве высокоточного оружия (рисунок 3).



Другая (более значительная) часть личного состава находится на континентальной части США – операторы управления полетом аппаратов и его полезной нагрузкой, группы обработки, распределения и хранения полученных разведданных. Такая организация деятельности снижает трудозатраты на сворачивание, транспортировку, развертывание и подготовку к использованию наземных станций управления полетом БЛА, что в итоге положительно сказывается на оперативности применения БАП.

С целью повышения боевой эффективности ДПЛА планируется проводить модернизацию бортовых средств разведки, совершенствовать аппаратуру связи и обмена данными, осуществлять разработку алгоритмов взаимодействия с пилотируемыми летательными аппаратами и подразделениями других видов ВС в ходе их авиационной поддержки.

Одним из примеров практической реализации данных планов является создание системы, позволяющей проводить совместные операции с несколькими БЛА под управлением одного оператора. Реализация данной программы подразумевает создание системы, расширяющей автономность БЛА и упрощающей их групповое применение в сложных физико-географических условиях и/или активного радиоэлектронного противодействия со стороны противника. Основной целью при этом считается развитие возможностей «совместной автономности», под которой понимается синхронизация информации внутри группы БЛА, выработка ряда вариантов совместных действий и их корректировка по мере изменения обстановки. Оператор должен лишь выбрать один из предложенных ему вариантов действий. Преимуществом является повышение живучести отдельных БЛА за счет возможности «делиться» необходимыми данными с другими членами группы при выходе из строя или подавлении каких-либо систем (например, навигации или целеуказания).

В качестве приоритетного требования к системе управления БЛА выделяется возможность управления группой БЛА без постоянного контроля. Особое значение придается развитию систем управления полетом и действиям ударных БЛА с борта боевых самолетов (типа F-35) (рисунок 4).

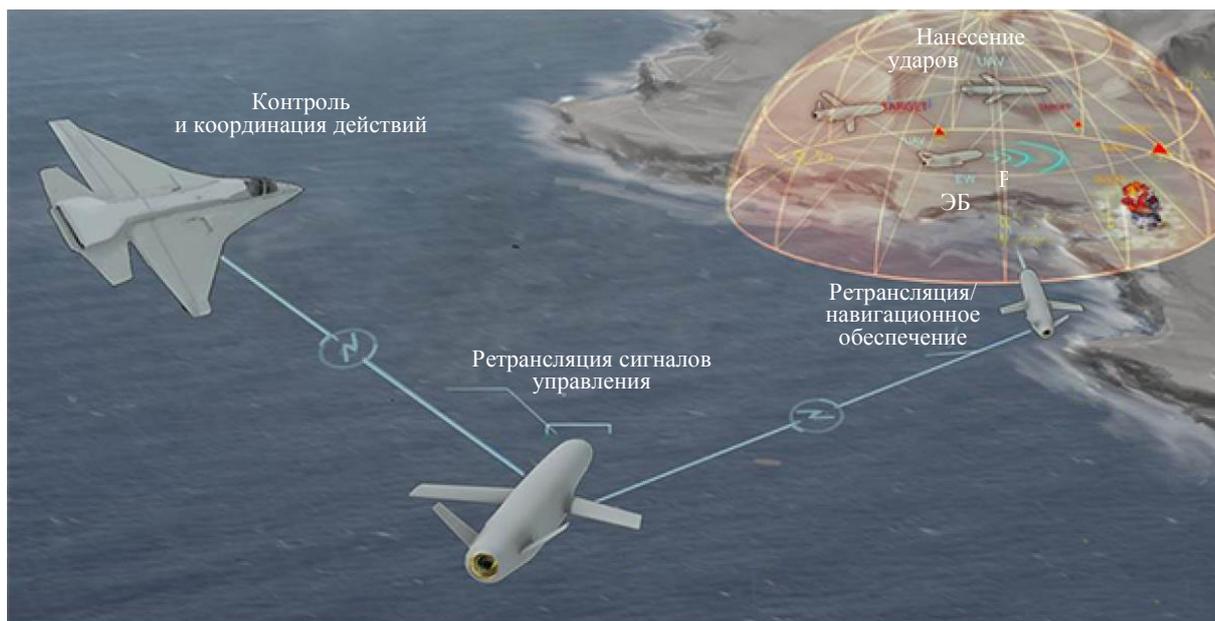


Рисунок 4 – Концептуальный вариант совместного применения БЛА под управлением пилотируемого самолета

Пользовательский интерфейс и алгоритмы автономности разрабатываются на базе открытой архитектуры, основанной на уже имеющихся стандартах, используемых в других видах ВС. В дальнейшем такая унификация позволит проводить интегрированные операции с максимальными возможностями по взаимодействию.

Оператор, управляющий группой БЛА, будет обладать актуальными данными об ее состоянии, статусе выполненных и стоящих в очереди задач, а также о возможных алгоритмах действий. При необходимости командир может выделять на мониторе часть группы БЛА, присваивать им позывной и отправлять вновь сформированную группу на выполнение нового задания. При этом задачи, распределенные на них до этого, автоматически перераспределяются между оставшимися БЛА. После выполнения задания группа продолжает действовать по основному плану либо ожидает нового задания в зависимости от заранее созданного алгоритма действий. Предусматривается, что управление БЛА может передаваться другим операторам в зависимости от складывающейся обстановки (рисунок 5).

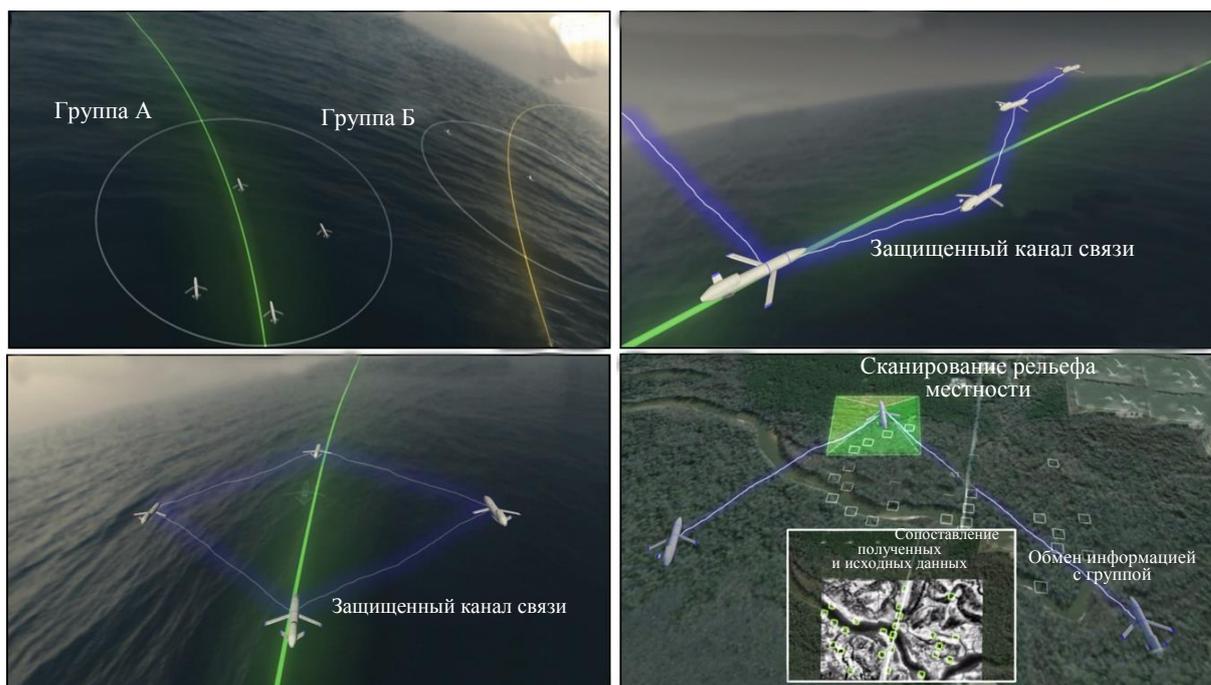


Рисунок 5 – Варианты группового применения БЛА в условиях активной постановки помех противником: 1 – разделение на группы в целях решения внезапно возникающих задач; 2 – ретрансляция сигналов управления в условиях невозможности отдачи указания непосредственно каждому БЛА; 3 – действия в условиях нестабильной работы глобальной системы позиционирования; 4 – осуществление геопривязки на основе сканирования рельефа участков местности и сопоставления их с существующей электронной картой местности

Таким образом, можно констатировать активную деятельность командования ВВС США в области строительства и применения беспилотной авиации, целью которой является повышению стратегической гибкости применения авиации, ее способности к концентрации сил и средств на удаленных ТВД в сжатые сроки. Теоретически и практически подтверждено, что широкое применение БЛА в вооруженных конфликтах может существенно расширить возможности войск по выявлению характера деятельности противника, расположения его объектов, их своевременному и гарантированному уничтожению.

На современном этапе основными направлениями деятельности по развитию беспилотной авиации являются теоретическое обоснование рациональных способов применения БЛА, уточнение потребного количества беспилотных аппаратов различных классов, формирование требований к новым образцам летательных аппаратов, отладка системы подготовки операторов и специалистов по техническому обслуживанию. Практическое воплощение планов американского командования неразрывно связано с

совершенствованием единой информационной сети управления и обмена данными, созданием новых многофункциональных и специальных образцов БЛА (особенно третьей группы) способных осуществлять взлет и посадку на неподготовленной местности или с поверхности воды.

Характерной особенностью развития беспилотной авиации являются комплексная проработка вопросов военного, технического и экономического характера, их взаимная увязка, а также своевременная актуализация данной информации, посредством реализации принципов адаптивного планирования.

В области применения беспилотной авиации наблюдается переход от одиночного к групповому (массовому) применению, которое, в свою очередь, может иметь совместный, автономный или интегрированный характер. Рассматривается целесообразность и техническая реализуемость проектов по созданию и применению смешанных групп, включающих пилотируемые и беспилотные летательные аппараты. Прорабатываются вопросы создания самоорганизующихся авиационных групп, состоящих из БЛА различных классов, способных автономно выполнять широкий спектр задач в сложных погодных-климатических условиях, а также в условиях активного противодействия.

В качестве направления дальнейших исследований выделяется обоснование возможности согласованного использования БЛА различных видов ВС США и их союзников в рамках перспективной формы их применения - «интегрированная операция БЛА».

#### **Список использованных источников**

1. Global Horizons: United States Air Force Global Science and Technology Vision, 2013.
2. Small Unmanned Aircraft Systems (SUAS) Flight Plan: 2016-2036 / Headquarters United States Air Force, 2016.
3. The Air Force Future Operating Concept (AFFOC) / Secretary of the Air Force, 2015.
4. The USAF Remotely Piloted Aircraft (RPA) Vector—Vision and Enabling Concepts: 2013–2038 / Secretary of the Air Force, 2014.
5. The World Almanac and Book of Facts, 2015.
6. United States Air Force Unmanned Aerial System Flight Plan 2009–2047 / Headquarters United States Air Force, 2009.
7. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2013–2038 / Office of the Secretary of Defense, 2012.

Виноградов А.Д., д.т.н. профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник, НИИИ РЭБ ВУНЦ ВВС «ВВА»;

Зайцев И.В., к.т.н., доцент, начальник отдела – заместитель начальника управления, НИИИ РЭБ ВУНЦ ВВС «ВВА»;

Молев А.А., адъюнкт, НИИИ РЭБ ВУНЦ ВВС «ВВА»;

Мыльников В.А., к.т.н., заместитель начальника отдела, НИИИ РЭБ ВУНЦ ВВС «ВВА»;

Дьяконов Д.А., к.т.н., доцент, главный конструктор, СКБ 602 МАИ;

Коровин А.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА»;

Архипкин А.В., к.т.н., заместитель генерального директора, ОАО «Каскад»

### **Широкодиапазонная станция радиоразведки на беспилотном летательном аппарате вертолетного типа легкого класса**

Реализуемые технические возможности наземных средств радиоразведки (РР), основанные на применении пеленгаторных антенн, размещаемых в ограниченных объемах пространства на малых высотах от поверхности Земли, радиопеленгаторов, обеспечивающих пеленгование только в азимутальной (горизонтальной) плоскости, приводят к ограничению рабочей зоны средств РР и невозможности определения координат источников радиоизлучений (ИРИ) одним средством РР. Кроме того, существующие наземные комплексы РР, реализующие многопозиционный метод местоопределения РЭС, не обеспечивают возможность обнаружения с требуемой дальностью и определения координат ИРИ с требуемой точностью в сложных природно-географических условиях (горы, городская застройка), существенно искажающих структуру земных радиоволн.

Наиболее эффективным способом устранения вышеупомянутых ограничений и недостатков является использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) вертолетного типа (ВТ), обладающих рядом преимуществ по сравнению, например, с БЛА самолетного типа:

**наличием возможности вертикального взлета и посадки на неподготовленных труднодоступных и ограниченных по размерам площадках без использования специального стартового оборудования;**

слабой зависимостью аэродинамических характеристик от формы и предельно допустимых размеров целевой нагрузки;

более высокой грузоподъемностью и уровнем энергообеспечения целевой нагрузки при одинаковых условиях энергопотребления и времени беспосадочной работы летательного аппарата (ЛА);

более высоким уровнем предельно допустимого воздействия ветровой нагрузки при запуске, функционировании и посадке ЛА;

более высокой (в десятки раз) допустимой кратности применения ЛА и малым временем развертывания (свертывания);

возможностью выполнения задачи на малых высотах (до 50 м), малых скоростях и при произвольной ориентации относительно объектов РП, а также с неподвижным зависанием над заданной точкой на любых высотах.

При использовании для ведения РР БЛА ВТ, имеющих возможность, в том числе зависания в произвольной точке пространства, местоопределение может быть реализовано с применением способа определения координат наземного ИРИ при радиопеленговании с борта ЛА, проиллюстрированного на рисунке 1.

При определении азимута ИРИ формируется полуплоскость положения (рисунок 1а). При определении угла места формируется коническая поверхность положения (рисунок 1б). Пересечение в пространстве указанных поверхностей образует линию положения, пересекающую земную поверхность в точке расположения ИРИ.

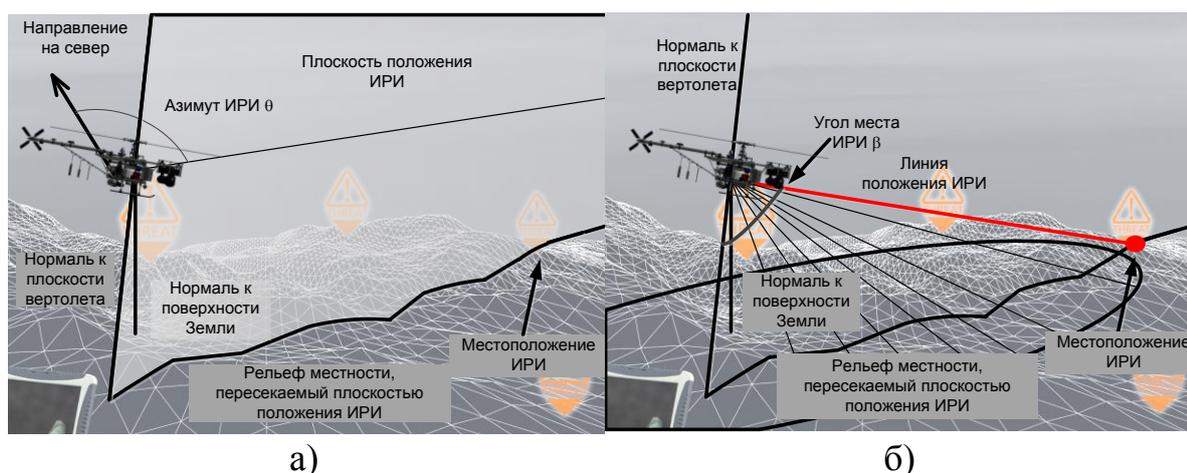


Рисунок 1 – Способ определения координат наземного ИРИ при радиопеленговании с борта БЛА

Для реализации данного способа применяется азимутально-угломестный радиопеленгатор с объемной антенной решеткой (АР).

На рисунке 2 приведены расчетные значения радиальной ошибки определения координат РЭС азимутально-угломестным радиопеленгатором с объемной АР для трех высот  $h$  БЛА ВТ 1, 3, 5 км, погрешностей определения азимута и угла места, равных  $0,7^\circ$  и точностях определения собственного местоположения не хуже 2 м.

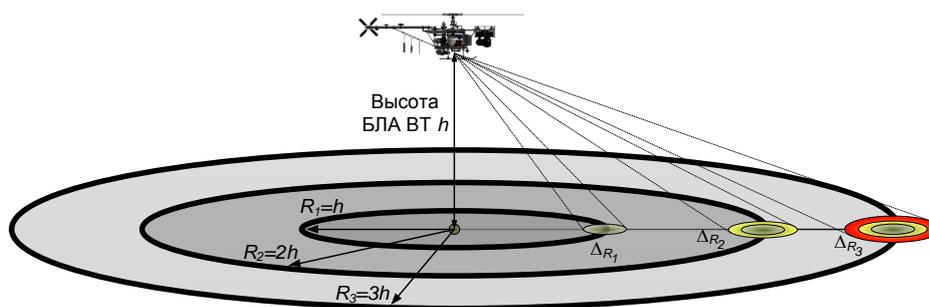


Рисунок 2 – Значения радиальных ошибок определения координат РЭС  $D_R$  для трех высот БЛА ВТ: 1 км, 3 км и 5 км.

$h = 1 \text{ км}$	$h = 3 \text{ км}$	$h = 5 \text{ км}$
$R_1 = 1 \text{ км}, D_{R1} = 50 \text{ м}$	$R_1 = 3 \text{ км}, D_{R1} = 150 \text{ м}$	$R_1 = 5 \text{ км}, D_{R1} = 200 \text{ м}$
$R_2 = 2 \text{ км}, D_{R2} = 90 \text{ м}$	$R_2 = 6 \text{ км}, D_{R2} = 270 \text{ м}$	$R_2 = 10 \text{ км}, D_{R2} = 450 \text{ м}$
$R_3 = 3 \text{ км}, D_{R3} = 180 \text{ м}$	$R_3 = 9 \text{ км}, D_{R3} = 540 \text{ м}$	$R_3 = 15 \text{ км}, D_{R3} = 900 \text{ м}$

Анализ полученных результатов показывает, что радиальные ошибки определения координат наземных РЭС в режиме однопозиционного местоопределения не превышают (4÷6) % от дальности.

Для апробации предлагаемого однопунктного способа местоопределения в настоящее время разрабатывается экспериментальный образец широкодиапазонной станция радиоразведки на БЛА ВТ легкого класса «Ворон-120» (рисунок 3), созданный КБ «Искатель» кафедры «Авиационные и ракетные системы» Московского авиационного института. Компоновка вертолёта выполнена по классической схеме одновинтового вертолёта с рулевым винтом. Все агрегаты вертолёта монтируются на силовом каркасе фюзеляжа ферменной конструкции, рисунок 3.

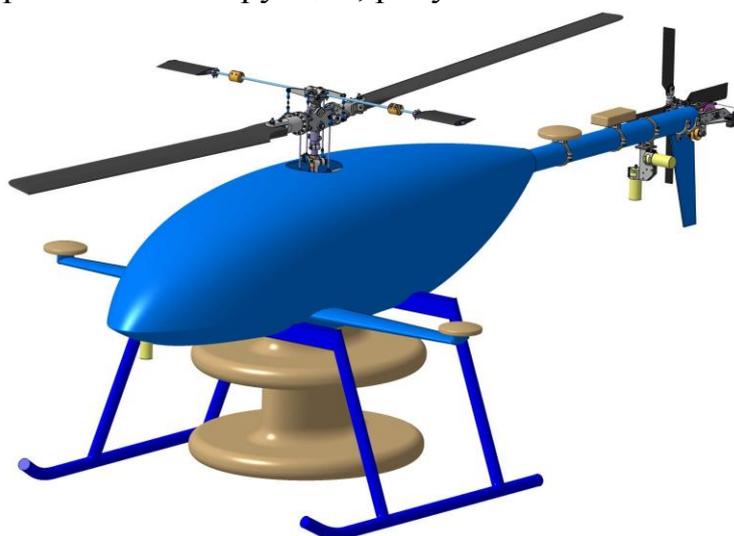


Рисунок 3 – Внешний вид экспериментального образца широкодиапазонной станции радиоразведки на БЛА ВТ легкого класса «Ворон-120»

Комплекс управления состоит из бортовой (рисунок 4) и наземной компонент, предназначен для автоматизированного и автоматического управления БЛА на всех этапах, во всем диапазоне высот и скоростей полета. Бортовой комплекс управления состоит из блока вычислителя со спутниковым навигационным приемником и антенной, блока чувствительных элементов бесплатформенной инерциальной навигационной системы (ИНС), магнитометра.



Рисунок 4 – Бортовой комплекс управления: блок вычислителя со спутниковым навигационным приёмником; блок чувствительных элементов бесплатформенной инерциальной навигационной системы; блок измерения воздушных сигналов; магнитометр

В состав наземной части входит рабочее место летчика-оператора (рисунок 5).



Рисунок 5 – Рабочее место оператора: пилотажный экран; маршрутная карта; панель состояния систем вертолёт; джойстики управления вертолёт.

Основным режимом комплекса управления является автоматический полёт вертолётa по заданному маршруту с остановками или без в заданных точках и выполнением операций (сброс или включение аппаратуры) при достижении заданной точки полёта.

Количество одновременно управляемых вертолётa с полезными нагрузками ограничивается исключительно размерами экрана карты местности выполнения полётного задания и психологической способностью оператора. По опыту эксплуатации оператор может качественно управлять не более двумя вертолётaми.

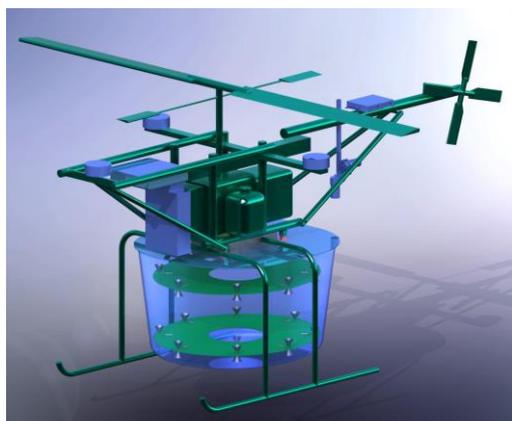
Навигационная аппаратура БЛА МРК-101 предназначена для определения координат и скорости движения объекта, пространственной ориентации (измерения азимута, тангажа и крена) антенной системы и связанного с ней объекта по радиосигналам до 24 навигационных космических аппаратов (НКА) ГЛОНАСС (ГЛОНАСС-М) и GPS, передаваемым в диапазоне L1 (коды СТ и ВТ ГЛОНАСС и код C/A GPS) и в диапазоне L2 (коды СТ и ВТ ГЛОНАСС). Аппаратура представляет собой 24-канальную систему, работающую по сигналам НКА ГЛОНАСС, GPS и в совмещенном режиме ГЛОНАСС и GPS. Аппаратура обеспечивает определение координат с предельной погрешностью (с вероятностью 0,95) не более  $\pm 20$  м в плане и не более  $\pm 30$  м по высоте (при использовании НКА системы ГЛОНАСС, GPS и совместном использовании сигналов НКА ГЛОНАСС и GPS).

В случае выключения спутниковой навигационной системы навигация осуществляется ИНС с коррекцией от магнитометра и оптического датчика. Оптический датчик работает в видимом и широкополосном ИК диапазонах и фактически выполняет функции авиагоризонта и доплеровского измерителя скорости и сноса. В случае остановки двигателя бортовой комплекс управления получает электроэнергию от резервной аккумуляторной батареи, что позволяет вертолёту произвести посадку на режиме авторотации.

Основной источник электропитания на борту – генератор переменного тока выходной мощностью до 2-х кВт без изменения паспортных программно-летных характеристик вертолётa. В случае выхода из строя генератора или какого-либо элемента системы электропитания автоматически включается алгоритм возврата вертолётa в заданную точку посадки. Емкость резервной аккумуляторной батареи достаточна для выполнения аварийного режима возврата на любом участке траектории полёта.

Вертолёт рассчитан на установку полезной нагрузки массой не более 35 кг. Полезная нагрузка представляет собой сменный модуль, включающий в себя диэлектрическое шасси. Крепление к вертолёту и фиксация полезной нагрузки производятся по установочным цапфам без инструмента.

Реализация функций поиска, обнаружения, однопунктного местоопределения реализуется многоканальным угломестно-азимутальным приемопеленгатором с количеством каналов, равным числу антенных элементов в объемной приемопеленгаторной АФС, которая представляет собой двухъярусную двухкольцевую антенную решетку с одинаковым нечетным количеством антенн в каждом кольце. Расстояние между радиусами ярусов выбрано таким образом, чтобы фазовые центры ярусов, находились на конической поверхности с углом при вершине, равным  $90^\circ$ . Бортовое цифровое многоканальное радиоприемное устройство реализовано по супергетеродинной схеме с тройным преобразованием частоты на базе бортового спецвычислителя. Первичная обработка информации осуществляется на борту БЛА, данные об обнаруженных ИРИ по быстродействующему каналу связи передаются на наземный пункт (станцию) управления, где осуществляется вторичная обработка и отображение данных о вскрытой радиоэлектронной обстановке на фоне электронной карты местности. Бортовые и наземные компоненты широкодиапазонного азимутально-угломестного пеленгатора станции РР на БЛА ВТ, показаны на рисунке 6.



а)



б)



в)



Рисунок 6 – Элементы широкодиапазонной станции РР на БЛА ВТ: БЛА с бортовым обнаружителем-пеленгатором (а), рабочее место оператора (б) и контейнеры для транспортировки (в)

Для передачи с борта большого объема данных (поток видео, изображения, характеристики обнаруженных ИРИ и т.п) применяется аппаратура передачи данных, построенная на российской системе-на-кристалле (СнК) «Каскад1», предназначенная для дуплексной передачи цифровой информации с пропускной способностью до 50 Мбит/с. АПД обладает высокой помехоустойчивостью за счет алгоритма перезапроса потерянных пакетов, помехоустойчивого кодирования, режима адаптивной модуляции и режима адаптивной мощности. Криптостойкость и имитостойкость канала связи обеспечивается шифрованием по ГОСТ 28147-89 криптомодулем из состава СнК. АПД БЛА комплектуется всенаправленной антенной или шестиэлементной смарт-антенной с электронной коммутацией элементов антенной решетки (рисунок 7), устанавливаются на хвостовой балке и в носовой части вертолёта. АПД пункта управления комплектуется секторной антенной с возможностью установки на следящий привод.



Рисунок 7 – Внешний вид элементов аппаратуры передачи данных

Основные технические характеристики экспериментального образца широкодиапазонной станции РР на БЛА ВТ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики экспериментального образца широкодиапазонной станции РР на БЛА ВТ

№ п/п	Наименование характеристики	Значение
1	Рабочий диапазон частот	УКВ
2	Радиальная СКО определения координат наземных ИРИ, в % от дальности до ИРИ: в режиме однопозиционного местоопределения при удалении ИРИ до 15 км в режиме многопозиционного местоопределения при удалении ИРИ до 15 км в режиме многопозиционного местоопределения при удалении ИРИ более 15 км	4...6 2 3...10
3	Высотность применения, км	до 5
4	Время непрерывной работы, ч	5

5	Дальность передачи информации в направлении БЛА ВТ - наземный пункт управления, км	до 50
6	Максимальный взлетный вес МВ, не более, кг	120
7	Длина, ширина, высота МВ, м	2,5; 0,65; 1,1
8	Время приведения МВ в рабочее положение от выгрузки из контейнера до взлёта, мин.	10 (лето) 20 (зима)
9	Максимальный вес целевой нагрузки МВ, не более, кг	35
10	Габариты транспортного контейнера, м	2,5×0,7×0,9

Отработка элементов полезной нагрузки, измерение точностных параметров угломестно-азимутального пеленгатора и комплексирование подсистем БЛА запланировано на июнь 2017 г. Демонстрация экспериментального образца широкодиапазонной станции РР на БЛА ВТ планируется на международном военно-техническом форуме «Армия-2017».

Гагарский С.В., к.т.н., генеральный директор ООО «Автономные системы», доцент Балтийского государственного технического университета («ВОЕНМЕХ» г. С-Петербург);

Поляков Г.А., к.т.н., ведущий инженер ООО «Автономные системы», научный сотрудник Балтийского государственного технического университета («ВОЕНМЕХ» г. С-Петербург);

Гагарский В.С., инженер ООО «Автономные системы», инженер 3 кат. Конструкторского Бюро Специального Машиностроения (г. С-Петербург);

Рахманов Ю.В., инженер ООО «Автономные системы», инженер Балтийского государственного технического университета («ВОЕНМЕХ» г. С-Петербург);

Шелуханов Д.М., инженер ООО «Автономные системы», инженер 3 кат. Конструкторского Бюро Специального Машиностроения (г. С-Петербург)

## **Многофункциональный модульный комплекс тактической разведки на подвижном носителе**

### **Введение**

В настоящее время зачастую используется понятие «информационное пространство/поле», подразумевая существование некой виртуальной среды, в которой происходит непрерывный сбор, обработка, накопление и анализ информации, а также, возможно, выдача целеуказаний, контроль их исполнения и т.д. Этот принцип построения системы также называют сетевым. В рамках реализации подобной технологии, ООО «Автономные системы» разрабатывается многофункциональный модульный комплекс тактической разведки (ММК-ТР).

Вторым важным аспектом комплекса является его расположение на подвижном носителе. Разрабатываемое решение предполагает возможность взлета и посадки летательного аппарата, непосредственно во время движения носителя (машина, водное судно, ж/д вагон). Подобная возможность существенно расширяет диапазон применимости комплекса, и наряду, с уже ставшими традиционными задачами использования БПЛА, позволяет обеспечить проведение разведки непосредственно, во время движения, исполняя тем самым, например, функцию конвоирования движущейся колонны.

Наконец, третьей важной особенностью комплекса является применение в качестве «полезной нагрузки» для аппарата, так называемых «отделяемых» модулей (сенсорных блоков) сбора, накопления и передачи информации. Указанная концепция также

принципиально расширяет диапазон возможностей и задач, решаемых комплексом, позволяя использовать аппарат, как элемент «доставки» соответствующего модуля в зону наблюдения, а также, как элемент для «сбора» накопленной модулем информации в течение определенного времени.

В состав комплекса (ММК-ТР-1) входит (рисунок 1): подвижный носитель (автомобиль «Газель»/«Соболь»), два БПЛА, размещаемые в грузовом отсеке, набор модулей «полезной нагрузки».



Рисунок 1 – Состав комплекса

Комплекс применяется (рисунок 2) либо автономно, либо в составе сетевидной модели, в качестве элемента «сенсорной решетки».



Рисунок 2 – Применение комплекса

Комплекс выполняет задачи обнаружения, сбора и передачи информации на сервер, находящийся в центре обработки данных (ЦОД). Кроме указанных задач, комплекс обеспечивает установку на контролируемой территории «отделяемых» модулей (сенсорных блоков), и в дальнейшем сбор и передачу накопленной ими информации. Летательные аппараты, стартующие с «носителя» комплекса, также могут быть после старта, переданы в подчинение оперативной/разведывательной группе, для выполнения поставленной

перед ней задачи, с последующим возвратом управления аппаратом оператору, располагаемому на «носителе».

### Подсистемы комплекса: Аппарат

Летательный аппарат комплекса включает следующие элементы (рисунок 3): аэродинамический корпус, двигательная установка, система управления, система связи, система посадки, полезная нагрузка.



Рисунок 3 – Состав ЛА

Аппарат относится к типу летательных аппаратов – конвертоплан, обеспечивая возможность вертикального взлета/посадки/зависания над объектом, а также возможность горизонтального полета на одних и тех же двигателях.

### Подсистемы комплекса: Подвижный носитель

В состав подвижного носителя комплекса ММК-ТР-1 входят (рисунок 4): автоматически открывающийся люк с приводом, рабочие места двух операторов, система управления посадкой, антенная система, взлетно/посадочная установка (ВПУ).



Рисунок 4 – Состав подвижного носителя

Непосредственно в состав ВПУ входят: пуско/посадочный стол с автоматическим приводом, система «захвата» аппарата при посадке, система стабилизации стыковочного устройства.

### Подсистемы комплекса: Система стабилизации стыковочного устройства

Система стабилизации стыковочного устройства располагается на выдвигающемся взлетно/пусковом столе, входящим в состав ВПУ подвижного носителя (рисунок 5).

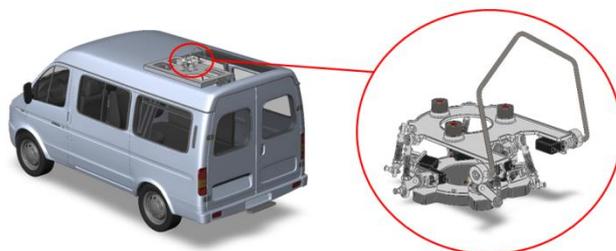


Рисунок 5 – Система стабилизации

Данная система выполнена на основе принципа работы, так называемой платформы Стюарта, обеспечивающей возможность перемещения рабочего (стыковочного) звена по шести степеням свободы в пространстве. Указанная возможность используется при посадке, для обеспечения совмещения всех стыковочных элементов посадочной системы с летательным аппаратом.

#### **Схема работы системы стабилизации**

Работа системы стабилизации (рисунок 6) обеспечивает надежную стыковку при посадке летательного аппарата и стыковочных элементов ВПУ в движении.

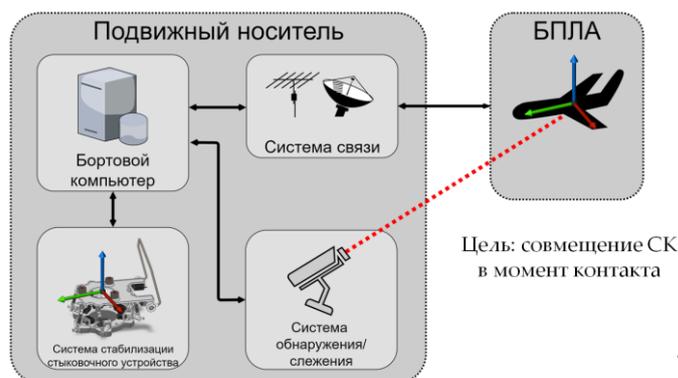


Рисунок 6 – Схема работы системы стабилизации

В состав системы входят Бортовой сервер (компьютер), располагаемый на подвижном «носителе», система связи с аппаратом при посадке, система обнаружения и сопровождения/слежения за движением аппарата в режиме посадки, а также система стабилизации стыковочного устройства ВПУ. Результатом работы системы является обеспечение совпадения (параллельности осей), связанной с аппаратом системы координат и системы координат, связанной со стыковочным

устройством ВПУ, а также определение скорости движения аппарата в связанной со стыковочным устройством системе координат.

### Реализация алгоритма работы системы стабилизации

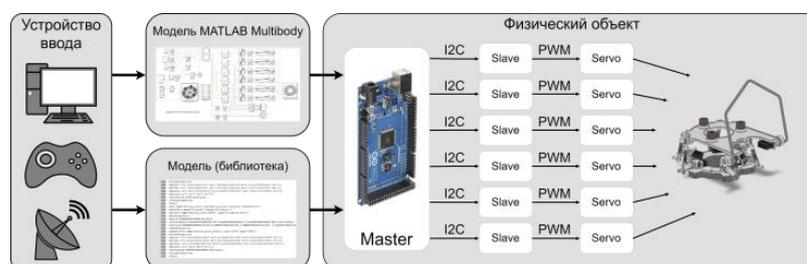


Рисунок 7 – Алгоритм работы системы стабилизации

Алгоритм работы системы стабилизации (рисунок 7) построен на расчете текущих значений положения шести опор (ног) платформы Стюарта и реализации этих расчетов на параллельно работающих контроллерах, составляющих пул электронного блока управления системы стабилизации. Положения (длины) опор платформы рассчитываются на основании значений шести параметров пространственного положения летательного аппарата, принимаемых с его борта во время движения в зоне посадки. В составе системы также имеются средства виртуальной визуализации расположения стыкуемых объектов (аппарата и ВПУ), а также элементы «технического зрения».

Отдельные промежуточные результаты работ по созданию ММК-ТР были опубликованы в [1,2,3,4,5].

#### Список источников

1. Гагарский В.С.; Зайцев И.И.; Поляков Г.А. Система управления движением манипулятора на базе платформы Стюарта. // IV научно-техническая конференция «Старт в будущее – 2017». Санкт-Петербург.

2. Гагарский С.В., Рахманов Ю.В., Шелуханов Д.М. Моделирование динамики движения пространственного манипулятора. // IV научно-техническая конференция «Старт в будущее – 2017». Санкт-Петербург.

3. Гагарский С.В. Беспилотные летательные аппараты тактической разведки. Механика и процессы управления. Том 3. Материалы XXXXI Всероссийского симпозиума. – М.:РАН, 2011. – 222 с.

4. Гагарский С.В., Поляков Г.А., Рахманов Ю.В. Экспериментальные исследования элементов движителя БПЛА тактической разведки. Механика и процессы управления. Том 4. Материалы XXXXII Всероссийского симпозиума. – М.:РАН, 2012. – 188 с.

5. Гагарский С.В., Зайцев И.И., Чикитов Ю.И. Стенд для проведения исследований движителя беспилотного летательного аппарата (БПЛА), выполненного по аэродинамической схеме «винт в кольце». 10-й Форум Российского вертолетного общества 28-30 ноября 2012 г Москва, МАИ.

Ищук И.Н., д.т.н., доцент, полковник, начальник 42 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Зубков С.Д., рядовой, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Аккубеков П.А., рядовой, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

## **Способы применения групп беспилотных аппаратов коптерного типа одним оператором**

Рассматривается применение беспилотных летательных аппаратов в военных и гражданских целях. Приведены основные проблемы и особенности управления группами беспилотников. Произведен обзор современного малоразмерного беспилотного летательного аппарата DJI Matrice-100 и анализ возможных способов его применения в составе группы.

**Актуальность.** В последнее время тема беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и их применения представляет большой интерес и повод для обсуждения. Дронов активно разрабатывают в США, Израиле, Канаде, Франции, Германии, Великобритании, Украине, Беларуси и России. Не смотря на подтвержденные случаи гибели гражданского населения в результате их применения, заинтересованность в беспилотниках только растет. Это обусловлено принципиально новыми возможностями, которые открываются при использовании БЛА. Прежде всего – отсутствие угроз сохранности жизни летного состава в ходе эксплуатации, малые затраты на обслуживание и эксплуатацию, трудность обнаружения, маневренность. БЛА коптерного типа актуальны для изучения, поскольку получили широкое распространение и применяются для решения различных задач, как в военной, так и в гражданской сферах. Также представляют интерес использование нескольких беспилотных аппаратов коптерного типа, объединенных в группу, под руководством одного оператора.

**Введение.** Создание первого беспилотного летательного аппарата относят к 1910 году. Конструктор-изобретатель Кеттеринг создал аппарат, который управлялся установленным на нем часовым механизмом, а именно прекращал движение и падал по истечению заданного времени в установленном месте как авиабомба. Не смотря на примитивность конструкции, идея беспилотного летательного аппарата нашла поддержку и получила толчок к развитию. С тех пор беспилотные летательные аппараты постоянно модернизировались и применялись для решения все новых задач на поле боя.

На сегодняшний день в военных целях БЛА используют для организации непрерывного воздушного наблюдения в заданном районе, выявления фактов передвижения живой силы, перемещения вооружений, организации засад и закладки взрывных устройств на

маршрутах движения транспортных колонн либо другой активности противника. Полученная с помощью разведоборудования БЛА информация об объектах атаки используется в ходе предполетной подготовки экипажей боевых самолетов или вертолетов, а также непосредственно в ходе выполнения ими задач, что позволяет повысить эффективность выхода на цель, ее идентификации и поражения в сложной обстановке, в частности, при действиях в условиях населенных пунктов. К способности длительно и скрытно вести воздушную разведку добавляется возможность БЛА точно атаковать противника с помощью ракетно-бомбовых ударов.

К актуальному применению беспилотных летательных аппаратов на поле боя относят конфликт в Сирийской Арабской Республике. Отрадно, что на тактику ведения боевых операций оказали комплексы с БЛА «Форпост» и «Застава» Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ). Данные беспилотники разведывательного типа во взаимодействии с Воздушно-космическими силами Российской Федерации (ВКС РФ) осуществляли наводку ударных самолетов с Авиационными Средствами Поражения (АСП), контроль за поражением цели, разведку. Видеоматериалы давали возможность оценить действия экипажей, положение противника, координировать удары в связи с изменившейся обстановкой, а также обеспечивали необходимую информационную составляющую, которая не позволяла дискредитировать действия России в лице мирового сообщества [1].

Нельзя не отметить и распространенность применения БЛА типа в гражданских целях. Дроны снискали популярность среди населения и коммерческих компаний благодаря выходу на рынок готовых продуктов, созданных под определенные задачи и их доступности. В данный момент гражданские беспилотники используют, как в качестве развлечения и любительских съемок достопримечательностей, красивых видов, так и журналисты для получения кадров с эпицентра событий и происшествий, работники сельскохозяйственной сферы для наблюдения за угодьями, работники нефтяной сферы для контроля за работой нефтяных вышек. А также зоологи для наблюдения за дикой природой, геодезисты и специалисты по геоинформационным системам (ГИС) для аэро-, фото-, видеосъемки и построения карт, рельефа местности. Существуют и проекты использования дронов в качестве доставщиков продуктов и медикаментов, спасателей, а также помощников по охране окружающей среды и национальных границ. Сдерживает развитие применения дронов в гражданских целях несовершенство настоящего законодательства в сфере регулирования полетов беспилотных летательных аппаратов, их небольшая надежность и уязвимость перед радиоэлектронными помехами.

**БЛА коптерного типа.** Беспилотные летательные аппараты разделяются на три большие категории: дистанционно-пилотируемые, автономные и неуправляемые. В свою очередь каждая из категорий делится, в зависимости от массы, дальности, высоты и времени полета аппарата, на микро, мини, средние и тяжелые БЛА. Кроме того, беспилотники подразделяются, в соответствии с конструкцией, на типы: самолетного и коптерного или вертолетного типа. Коптеры имеют несколько преимуществ, таких как возможность вертикального взлета и посадки, в том числе на неподготовленные площадки, а также снижение скорости в полете почти до нуля, то есть висение в воздухе.



а)



б)

Рисунок 1 – Типы беспилотных летательных аппаратов:

а) самолетный, б) коптерный

**Квадрокоптер DJI Matrice-100 и его использование в составе группы.** Китайская фирма SZ DJI Technology Co является новатором, одним из лидеров рынка беспилотных летательных аппаратов, контроллеров для БЛА и оборудования для стабилизации видеосъемки. В 2015 году была представлена новейшая разработка компании, «дрон будущего, который пользователь соберет под себя сам», DJI Matrice-100. Это беспилотник коптерного типа с четырьмя несущими винтами или квадрокоптер. Он относится к категории дистанционно управляемых микро БЛА. Главной особенностью нового беспилотника является то, что производитель задумал его как открытую программно-аппаратную платформу. Предполагается, что пользователь, купивший аппарат, сможет гибко сконфигурировать начинку дрона для решения необходимых задач. Платформа приспособлена для установки дополнительной батареи, различных типов камер, специально разработанной системы ультразвуковых сенсоров Guidance, изменения балансировки беспилотника путем перемещения блоков по раме, а также может быть запрограммирована с помощью комплекта средств для разработки DJI SDK (DJI Software Development Kit).



Рисунок 2 – Квадрокоптер DJI Matrice-100

Основные технические характеристики квадрокоптера представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики квадрокоптера DJI Matrice-100

Рама			Пульт управления			Аккумулятор		
Диагональ, мм	Вес (со стандартной батареей), кг	Максимальный полетный вес, кг	Рабочая частота, Гц	Дальность действия (на открытом пространстве), км	Рабочая температура, °С	Емкость, мА/ч	Напряжение, В	Тип
650	2,355	3,400	5,725~5,825	2	-10..40	5700	22,8	Li-Po 6S
Производительность								
Точность удержания положения (режим с GPS), м		Максимальная угловая скорость, градус/сек		Максимальная скорость, м/с			Время зависания, мин	
По вертикали	По горизонтали	Наклон (Pitch)	Вращение (Yaw)	Подъема	Спуска	Полетная (безветрие, без загрузки)	Со стандартной батареей (с двумя батареями)	С батареей увеличенной емкости (с двумя батареями)
0,5	2,5	300	150	5	4	22	Без нагрузки/нагрузка 1 кг	Без нагрузки/нагрузка 1 кг
							22(33)/13	28(40)/16

К другим нововведениям относят:

- углеродо-композитные лучи с возможностью изменения угла установки – для снижения веса, вибраций и повышения устойчивости в полете;

- быстросъемные винты;
- установка антенн на опоры квадрокоптера, которые разнесены по углам лучей, а также снабжение их пневматическими амортизаторами – для увеличения устойчивости связи, смягчения посадки.

Идея использования группы дронов одним оператором не нова, и вызвана использованием все большего числа роботизированных устройств. Несколько таких машин, действующих в рамках общей задачи, принято называть «роем». Преимущества использования нескольких БЛА очевидны, это и масштабируемость роя, и продолжение выполнения задачи при потере одного аппарата, и возможность рассредоточения необходимых устройств на бортах отдельных участников, и увеличение покрытия территории – что уменьшает время, например, при поиске пострадавших и раненых людей.

Существуют и существенные сложности в применении роя роботизированных устройств. К ним относится формирование надежной связи между отдельными элементами. Если взаимодействие будет запаздывать, например, в силу ограничения пропускной способности канала управления, возможны столкновения беспилотников в воздухе и другие проблемы.

В отряд дронов могут входить однотипные или же разнотипные участники, он может различаться по степени автономности своих элементов, и по уровню взаимодействия роботов. Так центральный компьютер может управлять отдельными устройствами, а иногда машины ориентируются в пространстве, учитывая исключительно свое местоположение относительно других участников роя. Рассмотрим подробнее обе концепции взаимодействия дронов на примере способов управления одним оператором отряда из нескольких квадрокоптеров DJI Matrice-100.

Говоря об управлении отдельными устройствами при помощи центрального компьютера стоит упомянуть возможность подключения нескольких пультов управления от данных коптеров. Подключив несколько дронов оператор наземной станции может выдавать полетное задание на каждый из пультов, сигнал управления от которых передается на «своего» квадрокоптера. К наземной станции могут быть подключены несколько пультов управления от DJI Matrice-100, тем самым создан рой из современных беспилотников. Кроме того, уникальные возможности данных БЛА в сфере создания под них прикладных программ, приложений для мобильных операционных систем, благодаря открытой среде средств разработки для полетного контроллера DJI Onboard SDK, выводят управление отрядом одним оператором на новый уровень.

Существует и более простой путь для управления роем беспилотников. Он сводится к управлению одним аппаратом, а остальные члены отряда должны всего лишь удерживать позицию относительно соседей. Так в простейшем случае устройства обмениваются в эфире тремя видами данных:

- своими GPS-координатами;
- параметром погрешности DOP (снижение точности в горизонтальной плоскости) в метрах, многие GPS-приемники определяют его самостоятельно;
- данными о векторе движения.

Применение роевого интеллекта для управления группой беспилотников популярно и довольно эффективно, так как базируется на уже испытанных задачах управления большим числом наземных микророботов [2]. Существуют и готовые программы управления роем, однако большинство из них либо примитивны (используют данные о позиции телеуправляемого или летящего по заданному маршруту «лидера» для выдачи набора точек маршрута «последователям») или находятся на тестировании и содержат множество ошибок. Таким образом, уйти от создания «своего» роевого интеллекта для управления группой БЛА практически невозможно, и в этом случае у рассматриваемого квадрокоптера есть довольно значительные преимущества перед остальными. Это прежде всего специально разработанная система ультразвуковых сенсоров Guidance. Сканирование пространства происходит на расстоянии до 20 м, и в базовом варианте позволяет коптеру избегать препятствий в полете. При этом, также доступны средства разработки для самой системы датчиков Guidance SDK, которые в сочетании со средствами разработки для полетного контроллера квадрокоптера, позволяют создать программу, в которой участники роя ориентировались в пространстве относительно соседей используя данную систему сенсоров.

В данной работе описаны тенденции применения БЛА во всех сферах жизнедеятельности. Определены основные проблемы управления групп беспилотников одним оператором и дан анализ возможных способов применения в составе гомогенного отряда актуальной разработки: открытой аппаратно-программной платформы DJI Matrice-100.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яцук К. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах / К.В. Яцук, М.С. Стафеев, С.В. Казаринов // Молодой ученый. — 2016. — №25. — С. 107-111.
2. Иванов Д. Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2011. — 3 том 116. — С.221-229.

Картеничев А.Ю., к.в.н., старший научный сотрудник, доцент, ведущий научный сотрудник, НИЦ пожарно-спасательной и робототехники ФГБУ ВНИИПО МЧС России

## **Актуальные направления применения технологий использования беспилотных авиационных систем при решении задач МЧС России**

Опыт подготовки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС), ликвидации последствий стихийных бедствий, техногенных, экологических катастроф последних десятилетий, современные тенденции применения беспилотных авиационных систем (БАС) в мире, проводимые мероприятия по строительству и развитию МЧС России свидетельствуют о возрастающей роли роботизированных систем и, в первую очередь, БАС различных типов и предназначения.

Основные усилия разработчиков БАС, наряду с совершенствованием аэродинамической компоновки и снижения массогабаритных характеристик беспилотных воздушных судов (БВС), направлены на создание оптико-электронной бортовой аппаратуры много- и гиперспектральной съемки, радиолокационного поиска и обнаружения, а также новых алгоритмов обработки данных для автоматического распознавания объектов и получения их интегральных изображений, в том числе создание 3-х мерных моделей местности.

В период с 2009 года по настоящее время в МЧС России БАС применялись для авиационного обеспечения мероприятий по предупреждению ЧС и ликвидации их последствий на территории Российской Федерации, связанных с возникновением крупномасштабных лесных, торфяных, ландшафтных пожаров, пожаров на складах и арсеналах Министерства обороны Российской Федерации, крупномасштабных наводнений на Дальнем Востоке и в Алтайском крае, техногенных аварий и катастроф, обеспечения поисково-спасательных и других работ.

По результатам опыта применения БАС можно сделать вывод, что они являются одним из самых эффективных инструментов дистанционной разведки для получения объективной информации в реальном масштабе времени и позволяют грамотно организовывать мероприятия по предупреждению и ликвидации последствий ЧС, оперативно реагировать на изменения обстановки, что в конечном результате отражается на эффективности, качестве и своевременности выполнения подразделениями МЧС России поставленных задач.

К 2017 году парк БАС МЧС России насчитывает в своем составе 1085 единиц БВС, из них самолетного 38 и 1047 вертолетного (мультироторного) типов ближнего действия (малого класса), более десяти модификаций различных (отечественных и зарубежных) производителей.

БВС самолетного типа представлены летательными аппаратами: Zala 421-04М, Zala 421-08, Zala 421-16ЕМ, Supercam 250, Орлан 10.

БВС вертолетного (мультироторного) типа представлены летательными аппаратами: HE-60, Zala 421-21, Zala 421-22, Гранад ВА-1000, Supercam X6 и X8, DJI Phantom 2 и 3.

Воздушная разведка или иначе воздушный мониторинг представляет собой совокупность мероприятий, проводимых в целях сбора информации об объекте чрезвычайной ситуации для оценки обстановки и принятия решений на применение сил и средств. БАС в системе МЧС России должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- поиск объектов заинтересованности и наблюдение за ними, патрулирование заданных районов, а также выполнение задач воздушной разведки с целью обнаружения признаков ЧС;

- инженерная разведка путей движения (дорог, колонных путей и троп), сооружений, заграждений и других объектов;

- разведка погоды и ледовой обстановки;

- оценка результатов применения авиационно-спасательных технологий в процессе ликвидации ЧС;

- аэрофотосъемка, создание электронных карт местности;

- поиск терпящих бедствие экипажей воздушных и морских судов, рыбаков на льдинах, пострадавших при сходе снежных лавин и др.;

- сопровождение и наведение мобильных поисковых групп;

- обеспечение связи и ретрансляция данных (команд);

- оповещение населения о ЧС;

- мониторинг пожароопасной и паводковой обстановки;

- экологический мониторинг;

- проведение замеров в районе химических и радиационных аварий;

- доставка малогабаритных грузов в назначенные районы.

В настоящее время одним из актуальных направлений является обеспечение комплексной безопасности населения и территорий Арктической зоны Российской Федерации на основе создаваемой системы специализированных аварийно-спасательных центров. В соответствии с поручениями Правительства Российской Федерации МЧС России осуществляются работы по созданию комплексной системы безопасности в Арктической зоне. В регионе разворачивается десять Арктических комплексных аварийно-спасательных центров

(КАСЦ). Основная задача центров – прикрыть всю территорию Российской Арктики и акваторию Северного морского пути. При этом будет обеспечиваться безопасность не только арктических поселений и Севморпути, но и буровых вышек на шельфовых месторождениях нефти и газа, предупреждаться и ликвидироваться разливы нефти и нефтепродуктов, выполняться задачи по поиску и спасанию людей, терпящих бедствие на море.

В настоящее время функционируют 3 комплексных арктических аварийно-спасательных центра МЧС России в г. Нарьян-Маре, Архангельске, Дудинке. Планируется создание аналогичных центров ещё в семи городах и населенных пунктах Арктической зоны – Певеке, Мурманске, Воркуте, Надыме, Анадыре, Тикси, Провидения. Аварийно-спасательные центры предназначены для реагирования на чрезвычайные ситуации и проведения поисково-спасательных работ, а также информационно-аналитической поддержки проведения мероприятий. Численность группировки сил по прикрытию Арктической зоны, с учетом сил органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, должна составлять порядка 18 тыс. человек и более 1,8 тыс. единиц техники. Личный состав оснащается современной техникой и оборудованием.

Большое внимание уделяется авиационной составляющей сил и средств МЧС России в Арктической зоне, в том числе и оснащению комплексами с беспилотными летательными аппаратами. Предполагается использование БВС двух типов: беспилотники повышенной дальности, которые будут подниматься в воздух с аэродромов и мобильные БВС тактической глубины, которые можно запускать с мобильных пусковых устройств непосредственно в районах проведения подразделениями МЧС России мероприятий по предназначению. Для повышения оперативности БАС могут доставляться в такие районы на транспортных вертолетах.

В таблице 1 представлены среднестатистические климатические данные, которые следует учитывать при определении закупаемого типажа БАС для использования в Арктической зоне.

Таблица 1 – Продолжительность полярной ночи и количество месяцев с отрицательной температурой воздуха в пунктах базирования Комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России в арктической и субарктической зонах

Пункт базирования КАСЦ	Координаты	Сроки и продолжительность полярной ночи	Количество месяцев в году с отрицательной температурой	Зона
------------------------	------------	---	--	------

Тикси	71°38'	19.11-24.01(67)	9	Арктическая
Певек	69°42'	27.11-16.01(50)	8	
Дудинка	69°24'	30.11-13.01(45)	8	
Мурманск	68°58'	02.12-11.01(41)	6	
Нарьян-Мар	67°38'	14.12-29.12(16)	7	
Воркута	67°30'	17.12-27.12(10)	8	
	<b>66°33'</b>	<b>П О Л Я Р Н Ы Й К Р У Г</b>		
Надым	65°32'	нет	7	Субарктическая
Анадырь	64°44'	нет	9	
Архангельск	64°33'	нет	5	
Провидения	64°25'	нет	8	

При принятии решения на закупку того или иного типа БАС необходимо учитывать не только стоимость, параметры дальности и продолжительности полета, но и работоспособность всех компонентов комплекса (средств запуска, аккумуляторов, полезной нагрузки и аппаратуры наземной станции управления) в возможных реальных условиях эксплуатации.

Другим актуальным направлением применения беспилотных технологий является повышение возможностей структуры МЧС России (отделов безопасности на водных объектах – ОБВО) ответственной за обеспечение безопасности людей на водных объектах.

Анализ ЧС только за 2016 год свидетельствует, что при решении задач мониторинга акваторий и прибрежных территорий, масштабы районов бедствий определяются десятками и сотнями квадратных километров. Это значительно превышает возможности наземных транспортных средств и речных (морских) судов по оперативному поиску потерпевших людей и терпящих аварии плавсредств. В таблице 2 представлена краткая информация о наиболее трагических событиях 2016 года связанных с ЧС на водных объектах

Одним из факторов, характеризующим специфику перечня задач выполняемых над акваториями водных объектов, это потребность в высокой оперативности их решения при, как правило, больших пространственных показателях районов их выполнения.

Анализ потребностей в оснащении ОБВО беспилотными авиационными системами, обеспечивающими оперативную информационную поддержку в решении задач по назначению в различных условиях обстановки, предполагает необходимость комплексного исследовательского и технического решения данной проблемы.

Таблица 2 – Информация о ЧС на водных объектах в 2016 год

Район ЧС	Сямозеро Республика Карелия	Алтайский край	Краснодарский край	Сочи
Тип происшествия	Гибель 47 школьников и 4 инструкторов при крушении лодок при попадании в шторм. 14 погибших.	Паводок. Повышение уровня воды в реке Алей до 1,5 м выше нормы. Подтоплено более 160 жилых домов и более 1 тысячи дачных участков в 26 населенных пунктах	Наводнение в результате сильнейших ливней	Катастрофа Ту-154 в Черном море в районе г. Сочи
Задача	Поиск пострадавших на берегу озера и на островах. Информационная поддержка поисково-спасательных групп.	Мониторинг зон затопления. Мониторинг лесных массивов целью выявления очагов возгораний. Мониторинг ледовой обстановки.	Мониторинг зон затопления, определение границ и динамики их изменения.	Поиск мест падения частей самолета, тел людей и их фрагментов.
Размеры района ПСР	Вертолеты облетели 369 км <sup>2</sup> . При поиске утонувшего ребенка были исследованы почти 280 км <sup>2</sup> территории места ЧП, включая 60 км <sup>2</sup> акватории. На суше обследовано 16 км береговой линии. С использованием БВС обследовано 45 км <sup>2</sup> территории	Ежедневно БВС обследовали до 500 км наиболее угрожаемых участков водоема, более 3 тысяч километров труднодоступных участков паводкоопасных рек	В зоне бедствия – Краснодар, курорты Лазаревского района г. Сочи, города Геленджик, Новороссийск, Крымск Общая площадь бедствия более 4000 км <sup>2</sup>	Воздушные суда обследовали свыше 240 км <sup>2</sup> В дальнейшем был сформирован район поиска площадью 10,5 км <sup>2</sup>
Привлекаемые БАС	«Phantom-3 Advanced», «ZALA 421-04M», «Орлан-10»	«Phantom-3 Advanced», «Орлан-10», «Гранат-4»	Информация отсутствует	20 БВС: «Орлан-10», «Гранат 4», «Застава»

Большое влияние на эффективность мероприятий по проведению мониторинга и поисково-спасательных работ с использованием БАС является не сам факт их применения, а соответствие профессиональному стандарту операторов (внешних пилотов), уровень их обученности и натренированности. Управлять беспилотником можно научить практически любого – это не так сложно. Но необходимы специалисты, способные профессионально эксплуатировать авиационную технику и в полной мере использовать ее функциональный потенциал в сочетании с грамотным выбором и применением рациональных тактических приемов выполнения различных задач в реальных условиях обстановки.

В последние годы большое внимание уделяется оснащению передовых подразделений, как в ВС РФ, так и в МЧС России, БАС

ближайшей тактической глубины. Эффективность применения мини-БВС в качестве инструмента организации управления и связи передовых оперативно-тактических подразделений будет определяться доступностью и широтой применения этих систем. Для решения этой проблемы необходимо использовать достаточно дешевые летательные аппараты без потери их функциональных возможностей по удобству управления и сервису по сравнению с более тяжелой техникой. Исходя из перечисленных выше требований, важной задачей становится создание комплексов с мини-БВС, обладающих современным эксплуатационными качествами, возможностью массового производства и малым временем обучения. Учитывая тактические задачи, которые должен решать мини-БВС, и сформулированные технические характеристики, представляется целесообразным в качестве аэродинамической схемы рассматривать летательные аппараты мультикоптерной схемы. Однако следует учитывать, что БВС отечественного производства могут эксплуатироваться при минимальной температуре окружающей среды, как правило, до  $-30^{\circ}$  –  $-40^{\circ}\text{C}$ . В то же время, некоторые иностранные образцы способны летать и выполнять задачи только при положительных температурах.

Основной вектор развития и применения БАС в МЧС России в ближайшее время будет направлен на достижение следующих целей:

- повышение степени оперативной готовности штатных подразделений, использующих БАС, сокращения времени реагирования на ЧС различного уровня;

- снижение финансовой нагрузки по стоимости средств авиационно-спасательных технологий и их эксплуатационным затратам за счёт выполнения части задач силами БАС;

- повышение эксплуатационной технологичности БАС;

- унификация и стандартизация БАС, планируемых к оснащению подразделений МЧС России;

- определение направлений технического и технологического совершенствования приборной оснащённости и компоновки БАС, поиск перспективных вариантов и способов их применения в интересах МЧС России.

Таким образом, на основе принятой Концепции применения беспилотных авиационных систем МЧС России на период до 2020 года, а также с учетом опыта их практического использования при предупреждении ЧС и ликвидации их последствий, способы и тактические приемы использования БАС будут совершенствоваться, а диапазон сфер применения расширяться.

Достижение указанных целей обеспечивается выполнением главных задач:

- оснащением сил МЧС России перспективными БАС различного

целевого назначения для обеспечения и поддержки аварийно-спасательных операций, в том числе позволяющими решать задачи проведения комплексной воздушной разведки зон ЧС, выполнять полеты БВС в условиях радиоактивного загрязнения и химического заражения, а также при низких температурах;

разработкой тактических приемов и способов использования БАС применительно к различным условиям проведения спасательных операций во взаимодействии с основными силами МЧС России, а также силами территориальных и функциональных подсистем единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС;

организацией в образовательных учреждениях МЧС России подготовки и повышения квалификации специалистов в области применения БАС в соответствии с необходимой потребностью.

Красавский В.А., Межвидовой центр подготовки и боевого применения сил и средств РЭБ (учебный и испытательный);

Иванов М.А., Межвидовой центр подготовки и боевого применения сил и средств РЭБ (учебный и испытательный)

### **Особенности применения комплексов РЭБ с БЛА в условиях применения противником линейных и нелинейных построений при смежных и несмежных зонах ответственности**

В статье приведены основные преимущества комплексов с БЛА в военной сфере, особенности боевого применения комплексов РЭБ с БЛА в различных условиях применения, построения войск противника и размещения зон ответственности.

В настоящее время, бурное развитие науки и технологий меняет характер вооруженной борьбы. С конца прошлого столетия в обиход прочно вошло понятие «высокотехнологичные войны». Главным способом достижения целей становится дистанционное бесконтактное воздействие на противника за счет массированного применения высокоточных и дальнобойных средств поражения с воздуха, моря и из космоса. Эта тенденция находит отражение во взглядах ведущих государств на ведение вооруженной борьбы.

Основной характеристикой, определяющей качество интеллектуальной системы управления, в том числе в военной сфере, является скорость реакции. Она определяется временем, которое система затрачивает с момента начала воздействия на неё внешней среды до момента осуществления оптимальной реакции на него. Конфликт двух систем с различной скоростью реакции приводит сначала к запаздыванию реакции системы с меньшей скоростью, а затем к так называемому «системному кризису» - ситуации, когда система с меньшей скоростью реакции не успевает выработать решение, в то время как система с большей скоростью реакции уже совершает действие. С точки зрения военного противоборства это приводит к необходимости постоянного возврата к этапу приема сигнала о начале воздействия и невозможности совершения реагирования ввиду отсутствия информации, заикливание и, как результат, поражению.

При достижении высокого уровня информатизации и автоматизации системы управления, дальнейшее развитие может осуществляться путем повышения мобильности элементов боевых формирований, например, широкого внедрения и использования робототехнических систем, таких как беспилотные летательные аппараты (БЛА). Развитие технологий позволяет сегодня беспилотным

аппаратам успешно выполнять такие функции, которые в прошлом были им недоступны или выполнялись другими средствами и способами. В частности, БЛА показали свою высокую эффективность при выполнении задач ведения наблюдения и разведки. Они позволили в реальном масштабе времени отслеживать и контролировать развитие обстановки в заданном районе или на заданном маршруте.

Главное достоинство БЛА - отсутствие на борту человека, благодаря чему независимо от сложности и опасности выполняемой БЛА задачи, жизни военнослужащих не угрожает опасность. БЛА способен действовать в зонах радиационного и химического заражения. Ему не нужны сложные системы жизнеобеспечения экипажа. В кризисной ситуации БЛА в любую минуту можно пожертвовать, особенно тогда, когда их производство поставлено на поток.

При применении в военном конфликте БЛА отлично подходят для определения местоположения боевых подразделений, движущихся транспортных средств, местоположений оружейных систем и других целей, которые контрастируют со средой их размещения. Кроме того, БЛА способны определять расположение и подтверждать положение своих сил, присутствие гражданских лиц и т.д.

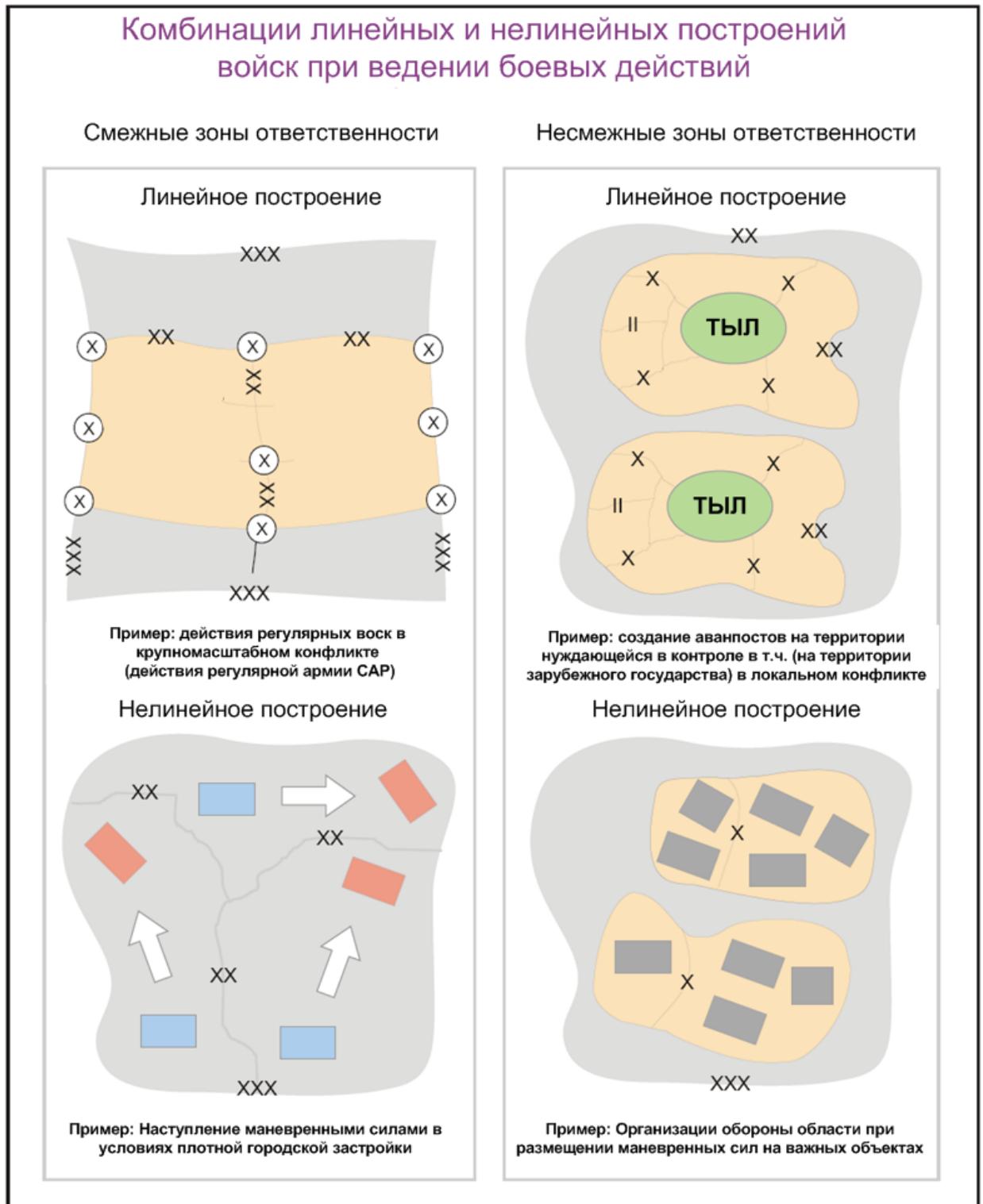
На данном этапе основным комплексом радиоэлектронной борьбы, оснащенным БЛА является комплекс «Леер-3». «Леер-3» представляет собой комплекс радиоэлектронной борьбы на базе автомобиля Камаз с пунктом управления и двумя беспилотными летательными аппаратами «Орлан-10». Полезной нагрузкой БЛА является виртуальная базовая станция (ВБС), которая позволяет осуществлять поиск, определение местоположения и скрытное блокирование абонентских терминалов сотовой связи.

Комплекс может применяться в следующих целях:

- блокирование абонентских терминалов сотовой связи в заданном районе;
- определение местоположения абонентских терминалов сотовой связи;
- одиночная или массовая рассылка SMS-сообщений;
- контроль количества абонентских терминалов в заданном районе.

Все комплексы РЭБ, в том числе имеющие в составе БЛА, применяются в целях повышения эффективности применения своих войск в операциях (боевых действиях) и снижения эффективности применения войск, сил и средств противника. Ввиду этого, эффективность реализации каждого вида возможного применения комплекса с БЛА зависит от конкретной ситуации применения и вариантов построения группировок сил.

Выделяются несколько особенностей построения сил в боевом пространстве (рисунок 1).



- X - Граница зоны ответственности подразделений уровня бригады
- XX - Граница зоны ответственности подразделений уровня дивизии
- XXX - Граница зоны ответственности подразделений уровня армейского корпуса

Рисунок 1 – Примеры построения сил в боевом пространстве

Особенности построения сил достаточно подробно описаны в полевых уставах армии США. В основе построения воинских формирований лежит принцип линейного, нелинейного построения, построения со смежными зонами ответственности и с несмежными зонами ответственности.

При линейных построениях каждый командир направляет и ориентирует боевые возможности подразделений по направлению к силам противника совместно со смежными ему подразделениями. Линейными, прежде всего, являются боевые действия с идентифицированными передовыми линиями собственных войск и линиями боевого соприкосновения. В линейных боевых действиях акцент делается на поддержание положения сил относительно друг друга.

Этим достигается безопасность построения и облегчение сосредоточения сил в нужной точке в случае необходимости.

Также особенностью линейных боевых действий является большая безопасность подразделений обеспечения и тыла за счет возможности рационального размещения их элементов в относительно безопасных областях.

Защищенные линии снабжения, в свою очередь, увеличивают возможности объединенных сил и гарантируют обеспечение маневренности и большей свободы действий на длительных периодах.

Линейные построения могут быть оптимальными для некоторых видов боевых действий или их фаз, например, при недостаточной информации о противодействующих подразделениях, либо при их превосходящем количестве.

Линейные построения также являются предпочтительными при действиях против глубоко эшелонированных сил противника, а также в случаях, когда угроза каналам снабжения может критично сократить возможности по боевым действиям. В этих обстоятельствах применение линейных порядков упрощает процесс управления и перераспределения ресурсов.

Многонациональные силы также могут применяться в линейных операциях. В качестве примера линейного построения сил можно привести первую и вторую мировые войны, когда большинство боевых действий велось с их применением.

При линейном построении воинских формирований в качестве наиболее оптимальных можно рассмотреть применение комплекса РЭБ с применением БЛА следующие способы:

– блокирование абонентских терминалов сотовой связи на направлении сосредоточения основных усилий;

- выявление и определение местоположения диверсионных групп в тылу;
- выявление и определение местоположения корректировщиков огня, авианаводчиков, отдельных групп на линии соприкосновения;
- определение местоположения подразделений обеспечения, резервов, командных пунктов в тылу противника;
- дезорганизация войск противника с помощью массовой рассылки сообщений.

При нелинейном построении при размещении сил основное внимание уделяется расположению целей и важных объектов, при этом местоположение смежных сил отводится на второй план. При нелинейных построениях основной фокус, как правило, сосредотачивается на создании определенных тактических ситуаций, приводящих к нужному ходу реализации событий. Нелинейные боевые действия подразумевают одновременные действия в нескольких зонах ответственности несколькими группировками сил (как на берегу, так и в море, и в воздушно-космическом пространстве). Такая одновременная работа нацелена на достижение превосходства над противником, она способствует сохранению инициативы за своими подразделениями при ведении боевых действий. В нелинейной операции способность сохранения боевых возможностей за подразделениями может зависеть от активов обеспечения, перемещающихся с силами или доставляемых воздушным способом. Наличие гражданских в зоне проведения операции и «текучесть» нелинейных боевых действий требуют большой осторожности при планировании нанесения ударов и огневой поддержки. Наиболее полная ситуационная осведомленность в совокупности с точностью нанесения огневых ударов позволяет одновременно действовать на нескольких направлениях. Быстрый маневр в качестве реакции на изменяющуюся обстановку, поддержанный точным, сконцентрированным огнем, может вызвать паралич и шок среди вражеских войск и командиров.

Нелинейное построение подразделений было применено во время операции ПРАВОЕ ДЕЛО (Operation JUST CAUSE). В ходе нее коалиционные силы ориентировались больше на назначенные цели (например, разрушение и захват определенных объектов, занятие позиций на местности и в населенных пунктах) и меньше на взаимном расположении по отношению к соседним формированиям. Для повышения возможностей защиты отдельные силы большее значение уделяли ситуативному пониманию, преимуществам подвижности и свободе действия, чем сосредоточению большого количества сил в одном месте. Основой ведения нелинейных боевых действий является связанность (применение современных систем связи), большая роль

разведки, мобильность и современные системы снабжения в боевом пространстве.

Во время нелинейных наступательных операций атакующие силы должны фокусировать наступательные действия на направлениях, которые позволят реализовать нужный ход реализации событий при задействовании минимального количества сил. При этом резервные подразделения должны обладать большой степенью мобильности для оперативной переброски в случае необходимости. При этом свои подразделения могут применяться для защиты так называемых «контрольных точек», для предотвращения контратак противника. Объединенные боевые действия, особенно те, в которых принимают участия как наземные, так и воздушные подразделения, требуют наиболее тщательного планирования и подготовки. Вероятность несения потерь от так называемого «дружеского огня» увеличивается при ухудшении погоды, в условиях нелинейного построения при смене позиций во время атаки либо обороны. Присутствие гражданских лиц в зоне ответственности подразделения также усложняет ведение боевых действий.

Во время нелинейных защитных операций защищающаяся сторона сосредотачивает усилия на том, чтобы нанести максимальный урон атакующим подразделениям противника, даже если это означает потерю физического контакта с соседними дружественными подразделениями.

Успешная нелинейная обороноспособность требует, чтобы все союзные подразделения понимали намерения и поддерживали общий операционный замысел. Оборона, состоящая из нескольких несмежных участков, является основной частью построения боевых порядков при ведении маневренной обороны. При этом некоторые подчиненные подразделения могут вести стационарную оборону области в целях удержания ключевой точки местности или оттягивания части атакующих на себя. Ведение обороны в нелинейных порядках требует постоянного ведения наблюдения и разведки для поддержки контакта с противником, а также постоянного обмена ей между всеми подразделениями для поддержания ситуационной осведомленности. Обороняющиеся силы концентрируются на нанесении максимальных потерь атакующей стороне вместо того, чтобы сохранить большие площади.

Помимо линейных и нелинейных построений различают построения со смежными зонами ответственности и с несмежными зонами ответственности.

Когда зоны ответственности объединяются общей границей, они являются смежными.

В некоторых случаях подразделение может иметь такую большую зону ответственности, что подчиненные подразделения вынуждены работать в зоне, состоящей из нескольких несмежных участков, широко распределенных и независимых в плане поддержки друг от друга.

В этих случаях рассматриваются варианты повышения самостоятельности действий командиров отдельных компонентов и передачу зоны ответственности под их полный контроль для повышения эффективности управления.

При нелинейном построении воинских формирований оптимальными способами применения комплекса «Леер-3» могут быть:

- блокирование абонентских терминалов в заданном районе в целях снижения эффективности применения войск, сил и средств противника;

- определение местоположения скоплений абонентских терминалов сотовой связи на территории, подконтрольной противнику в целях выявления командных пунктов, блокпостов, районов сосредоточения противника;

- дезорганизация и деморализация войск противника с помощью массовой рассылки сообщений;

- контроль количества абонентских терминалов в заданном районе. Позволяет своевременно обнаружить изменение количества терминалов (прибытие подкреплений, отход войск противника из района).

В современных конфликтах даже на открытых пространствах зачастую сложно обнаружить объекты противника, которые благодаря развитым средствам маскировки скрывают от средств видовой разведки. Однако, с помощью ВБС есть возможность обнаружить и определить местоположение средств связи противника и после этого с помощью БЛА видовой разведки детально изучить район предполагаемого размещения объектов противника.

Контроль количества абонентских терминалов целесообразен только в малонаселенных и обособленных районах с общей численностью абонентов до 1000. В этом случае есть возможность создания базы данных по каждому району и своевременного отслеживания изменения количества абонентских терминалов в районе, вплоть до перемещения конкретных абонентов из одного района в другой. В густонаселенных районах и особенно в условиях города контроль количества абонентских терминалов неэффективен, так как в современных конфликтах, зачастую, в районах боевых действий остается много местного населения и общее количество абонентских терминалов сильно превышает возможности ВБС по контролю. Данные могут сильно отличаться от высоты полета (на нее могут повлиять

погодные условия) и времени суток, и поэтому данные о количестве абонентских терминалов не дадут представления о количестве противника.

Дезорганизация и деморализация с помощью сообщений может оказаться неэффективной против хорошо обученных и мотивированных войск противника и наоборот, быть эффективной против бандформирований и подразделений наемников.

При нелинейных операциях и наличии гражданских лиц в районе ведения боевых действий важно с особой осторожностью планировать нанесение ударов и огневую поддержку, поэтому выведение из строя систем управления, в том числе и сотовой связи, имеет гораздо большую эффективность.

При блокировании виртуальные базовые станции одного БЛА позволяют суммарно заблокировать до 4500 и нарушить стабильную работу еще порядка 2000-3000 абонентских терминалов, что может серьезно помешать системе управления противника в пределах небольшого населенного пункта. Однако стоит учитывать, что виртуальная базовая станция, установленная в комплексе «Леер-3», способна работать только по стандартам GSM-900 и GSM-1800. Сети 3G и выше для нее недоступны.

С ростом информатизации и автоматизации системы управления растет роль радиоэлектронного и информационного воздействия, как средства снижения эффективности работы информационных сетей противника. При этом, чем больше развита информационная сеть передачи данных, тем большее влияние на эффективность работы может оказать радиоэлектронное и информационное воздействие.

Современные вооруженные конфликты, как правило, являются локальными и скоротечными. Зачастую у воюющих сторон нет времени и возможности на организацию полноценной радиосвязи и так или иначе управление подразделениями может происходить по сотовой связи. Поэтому комплексы РЭБ, позволяющие обнаруживать терминалы сотовой связи, блокировать их работу и вычислять их местоположение могут сильно повлиять на исход вооруженного конфликта.

#### Литература:

1. В.Герасимов «Гибридная война требует высокотехнологичного оружия и научного обоснования» статья, Военно-промышленный курьер № 9 (624) за 9 марта 2016 года.
2. Ю.КванЧин "Simulation Of Network-Enabled Electronic Warfare Metrics To Assess The Value Of Networking In A General Information And Radar Topology" Naval Postgraduate School Monterey, California, сентябрь 2007.

3. Объединенные публикации Joint Publication 3-0, Joint Operations, 11 August 2011.

4. Полевой устав Field Manual No. 3-90 Volume 1 Headquarters Department of the Army Washington, DC, 22 March 2013.

5. Полевой устав Field Manual No. 3-90.6 Headquarters Department of the Army Washington, DC, 14 September 2010.

6. Полевой устав. Field Manual Interim Headquarters No. 3-04.155 Department of the Army Washington, DC, 4 апреля 2008.

Лоськов В.И., технический директор, ОАО «Рикор Электроникс»;  
Седов В.С., директор, ООО «ТД Айсберг»

## **Решение проблем эксплуатации беспилотных летательных аппаратов самолетного и вертолетного типа. Мобильные комплексы управления: акцент на условия работы**

На сегодняшний день на рынке беспилотной авиации представлены два вида летательных аппаратов: самолетного и вертолетного типа. Наиболее распространенным и востребованным в настоящее время является самолетный тип. Объясняется это тем, что конструкция БПЛА вертолетного типа более сложна в аэродинамике, дальность полета и скорость ниже, чем у самолетного типа.

Однако у аппаратов самолетного типа есть определенные недостатки. К основным проблемам эксплуатации таких аппаратов относятся:

- Проблема запуска аппарата;
- Проблема возврата с сохранением механической целостности аппарата (иными словами посадка)
- Проблема сброса груза с сохранением его механической целостности.

Способы запуска БПЛА самолетного типа можно разделить на:

- Запуск со специального устройства (катапульта);
- Запуск по-самолетному;

Способы посадки БПЛА самолетного типа можно разделить на:

- посадка по-самолетному (на взлетно-посадочную полосу);
- посадка с использованием парашюта;
- посадка в улавливающее устройство посадки;

Все эти способы как запуска, так и посадки требуют либо специальных условий (взлетная полоса, большая открытая площадка), либо специальных приспособлений (катапульта, улавливающие сетки, парашюты, посадочные баллоны).

Имея в преимуществах высокую скорость и дальность полета, самолет лишен таких достоинств вертолета как точный взлет, посадка и доставка груза.

Преимущества применения БПЛА вертолетного типа налицо - это малые горизонтальные скорости, возможность зависать над объектом на малой и большой высоте, взлет и посадка на площадке небольших размеров, возможность взять на борт больше полезной нагрузки, чем на БПЛА самолетного типа и обеспечить доставку и сброс груза.

Для решения вышеперечисленных проблем эксплуатации аппаратов самолетного типа и использования преимуществ аппаратов

вертикального типа нашим заводом был разработан беспилотный самолет с вертикальным взлетом и посадкой. Данный БПЛА наделен всеми качествами самолета и вертолета:

- Не требуется большой площадки для взлета и посадки;
- Имеет высокую скорость полета;
- Имеет высокую дальность полета;
- Имеет возможность сбросить груз точно с сохранением его механической целостности.

На сегодняшний день в линейке беспилотных летательных аппаратов, разработанных на предприятии ОАО «Рикор Электроникс», представлены следующие модели:

### **1. Рикор АЛ-110"Колибри"**

Компактный беспилотный летательный аппарат-трансформер вертикального взлёта и посадки. Предназначен для открытого рынка в нише массовых дронов класса DJI Phantom и для мобильных групп быстрого реагирования. Аппарат- трансформер состоит из квадрокоптера с несущим пластмассовым корпусом, пластмассовой приставкой с маршевым двигателем и двух приставных консолей крыла из вспененного полистирола.



ТТХ:

Длина/ширина: 0,35 м, размах (с крылом): 0,8 м

Максимальный взлётный вес: 2,2 кг

Полезная нагрузка: 0,35 кг

Макс. скорость: 90 км/ч

Макс. время полёта: до 1-го часа

Макс. высота полёта: до 2000 метров.

Дальность полёта: до 70 км Радиус действия: 20 км

Материал корпуса: пластмасса + крылья из вспененного полистирола.

### **2. Рикор АЛ-210 "Охотник" (ранцевый МБЛА)**

Компактный беспилотный летательный аппарат вертикального взлёта и посадки аэрогибридной схемы. Самолёт является частью ранцевого комплекса для мобильных групп служб быстрого

реагирования. Экипаж состоит из одного человека. Время развёртывания 10 минут. Общий вес переносного комплекса 10 кг.



ТТХ:

Длина: 0,7 м, размах: 1,8 м

Максимальный взлётный вес: 4,5 кг

Полезная нагрузка: подвес в носовой части до 0,5 кг

Макс. скорость: 120 км/ч

Макс. время полёта: до 90 минут

Макс. высота полёта: до 1000 метров.

Радиус действия: 30 км

Силовая установка: четыре электрических подъёмных мотора и один маршевый

электродвигатель

Материал корпуса: стеклопластик и углепластик.

### **3. Рикор АЛ-220 "Ларус"**

Универсальный беспилотный летательный аппарат вертикального взлёта и посадки с адаптированной технологией под массовое промышленное производство. Предназначен как для открытого гражданского рынка, так и для закрытого.



ТТХ:

Размах крыла: 2,2 м

Максимальный взлётный вес: до 6 кг

Полезная нагрузка: 2 кг

Макс. скорость: 140 км/ч

Макс. время полёта: 2 часа

Макс. высота полёта: до 3000 метров.

Дальность полёта: до 70 км Радиус действия: 20 км

Материал корпуса: пластмасса + крылья из вспененного полистирола.

#### **4. Рикор АЛ-310 "Мегатерий"**

Многоцелевой беспилотный летательный аппарат вертикального взлёта и посадки аэрогибридной схемы.



ТТХ:

Длина: 1,4 м Размах: 2,7 м

Максимальный взлётный вес: 11 кг

Полезная нагрузка:

- подвес в носовой части до 1 кг

- подвешиваемый груз под центром масс до 2 кг

Максимальная скорость: 110 км/ч

Максимальное время полёта: до 3-х часов

Максимальная высота полёта: до 3000 метров.

Дальность полёта: до 300 км

Радиус действия: 100 км

Силовая установка: четыре электрических подъёмных мотора и один маршевый электродвигатель

Материал корпуса: стеклопластик и углепластик.

БПЛА оснащается автопилотами собственной разработки ОАО «Рикор Электроникс» и подвесом с установленной видеокамерой. В корпусе БПЛА предусмотрено размещение контейнера для транспортировки различных грузов (масса полезной нагрузки соответствует модели БПЛА) и механизмом сбросом груза по команде с пульта управления "Мобильного комплекса"

Ссылка на видео полёта БПЛА:

<https://vadi.sk/mail/?hash=r8VQ45wPM8LSOJ6Dpi0Hx411w852vPv aVJ8adkIFuL0%3D>

Теперь перейдем к транспортной базе или мобильному комплексу управления беспилотными летательными аппаратами.

Большинство производителей при изготовлении комплексов уделяют основное внимание самим летательным аппаратам, полезной нагрузке и приему-передаче информации, совсем упуская из виду то, в какой обстановке будут находиться, работать и отдыхать операторы. А ведь не меньшую роль в правильном выполнении задач играет не только БПЛА и его полезная нагрузка, но и квалификация оператора, его внимательность и концентрация, физическое и психологическое состояние.



И если в повышении квалификации мы можем поучаствовать опосредованно, проводя обучения, курсы повышения квалификации, ведя работу в направлении подготовки специалистов, то обеспечить максимальную эргономику и удобство рабочих мест - наша прямая задача.

Как-то один из генералов в 2012 году, увидев наш комплекс на испытательном полигоне, воскликнул: «Наконец-то наши военные

будут воевать в комфортных условиях!» И это высказывание во многом отражает нашу жизненную позицию.



Долгие годы наш ВПК делал ставку на сложное, высокоточное, высокотехнологичное вооружение, подчас мало внимания уделяя самому главному – людям, а ведь победу куют не танки, самолеты и ракеты (хотя и они, конечно, вносят огромный вклад), а солдаты и офицеры, ими управляющие.

И мы для себя давным-давно сформулировали миссию, девизом которой является: «Защита Родины - это призвание, забота о защитниках - наша профессия».

В наших комплексах наряду с применением надежного и высокотехнологичного оборудования мы стараемся обеспечить работу операторов и личного состава в максимально комфортных условиях. Наши системы энергоснабжения позволяют обеспечить работу комплекса до 10 часов в тишине без подключения внешнего источника питания или запуска генератора. Системы отопления и кондиционирования обеспечивают комфортную работу состава при температуре окружающего воздуха - 45 +45. Места для приготовления, приема пищи и отдыха обеспечивают быстрый отдых операторов, позволяют в короткие сроки вернуться в строй отдохнувшими, а удобные кресла и эргономика рабочих мест позволяют работать в течение длительного времени с сохранением концентрации и внимания.



Что касается обеспечения безопасности экипажа мобильного комплекса, то не маловажным фактором, наряду с наличием брони транспортной базы, зачастую является ее неприметность, а наличие маскировочных атрибутов заменяется или дополняется отсутствием

отличительных признаков назначения автомобиля, выступающих частей мачтовых устройств, антенн и прочего демаскирующего оборудования.

За долгие годы работы по производству автомобильной спецтехники мы научились размещать оборудование, которое на первый взгляд невозможно расположить внутри транспортной базы, а использование выкатных систем, систем разгрузки и прочих приспособлений позволяют оперативно приводить комплекс в боевое состояние.

Все вышперечисленное позволяет выполнять поставленные перед комплексами нашего изготовления задачи автономно, малозаметно, максимально бесшумно, безопасно и комфортно в течение длительного времени.

Помимо вышперечисленного хотелось бы добавить, что мы всегда учитываем потребности заказчиков и готовы работать над новыми проектами на всем протяжении жизненного цикла изделия с момента формирования технического задания и разработки конструкторской документации, заканчивая гарантийным и послегарантийным обслуживанием.

Лялюк И.Н., к.т.н., доцент, заместитель генерального директора по развитию автоматизированных систем, ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»

### **Основные задачи автоматизации процессов применения беспилотных авиационных систем**

Командование вооруженных сил США уделяет большое внимание развитию беспилотных летательных аппаратов (БЛА — Unmanned Aerial Vehicle — UAV) и беспилотных авиационных систем (БАС — Unmanned Aircraft System), подчеркивая свойственные им боевые качества, особенно возможность длительного воздействия на противника, оперативную гибкость и снижение риска боевых потерь личного состава [1].

Военные эксперты США весьма оптимистично оценивают будущее БАС. Они полагают, что уже к 2025 году боевая авиация будет на 90% состоять из БЛА. Эта идея имеет достаточное число влиятельных сторонников — в сенатском комитете по вооруженным силам уже сейчас обсуждаются предложения заменить в ближайшие годы беспилотными летательными аппаратами 30% ударной авиации США.

Опыт локальных вооруженных конфликтов убедительно свидетельствует о возрастании интереса к БЛА, которые способны решать практически любые задачи. Известное среди американских беспилотчиков высказывание о том, что БЛА лучше подходят для «скучной, грязной и опасной» работы, чем пилотируемые летательные аппараты (ЛА), предполагает, что лётчик является тем фактором, который ограничивает эффективное выполнение определенных задач, стоящих перед ВВС [2].

Возрастание интереса к БЛА объясняется тем, что они имеют ряд неоспоримых преимуществ перед пилотируемыми ЛА:

- отсутствие потерь личного состава, так как пилотирующее данный аппарат лицо (если такое имеется) не пострадает в случае потери аппарата — это существенное преимущество технологии БЛА;

- БЛА обладают лучшими характеристиками маневренности, так как отсутствуют ограничения, связанные с переносимостью перегрузок пилотом и размерами аппарата;

- некоторые типы БЛА могут «прятаться» на территории противника продолжительное время и продолжать выполнять заданные функции, или ожидать команды взлета для продолжения выполнения задачи; небольшие размеры БЛА затрудняют их обнаружение;

- отсутствие аппаратуры жизнеобеспечения пилота снижает стоимость производства и эксплуатации БЛА;

- один оператор может управлять несколькими БЛА, следовательно, для обслуживания группы БЛА необходимо меньше личного состава и их подготовка обойдется дешевле, чем такое же количество летчиков;

- БЛА могут находиться в воздухе больше времени и на большей высоте, чем самолет и выполнять такие не свойственные самолету функции, как «зависание» над точкой местности;

- технология БЛА позволяет создавать миниатюрные аппараты, которые могут действовать самостоятельно или в группе подобных средств («роя») как под управлением базового корабля, так и без него. Количество БЛА в «рое» может достигать нескольких десятков, каждый из которых может выполнять индивидуальную задачу и перемещаться по собственному маршруту. Большое количество миниатюрных БЛА осложняет задачу их уничтожения и срыва выполнения ими боевой задачи.

К преимуществам БЛА также относятся:

- возможность наблюдения и передачи потребителям разведывательной информации (РИ) в реальном масштабе времени;

- повышенная мобильность за счет небольших габаритов и веса; высокая степень боеготовности;

- массированное применение с высокой частотой пусков;

- значительное снижение затрат за счет автоматизации производственных процессов при изготовлении конструкции из композиционных материалов, а также с использованием технологии 3D-печати.

Достижение преимущества БЛА перед пилотируемыми ЛА достигается:

1. Максимальным упрощением и удешевлением всей конструкции:

- отсутствие необходимости обеспечивать длительный ресурс эксплуатации, гораздо более низкие требования по надёжности у БЛА;

- отсутствие потребности в целом ряде дорогостоящих узлов и агрегатов, необходимых для самолётов (кабина пилота, система жизнеобеспечения, система спасения, шасси);

- менее противоречивые и менее высокие требования к лётным характеристикам, чем те, которые обычно предъявляются к самолётам;

- приблизительно вдвое меньший потребный запас топлива.

2. Приданием БЛА таких свойств, которые позволили бы выполнять задания минимальным их количеством. Основные из этих свойств:

- сложность обнаружения и уничтожения;

- точность попадания и мощность боевого заряда, достаточные для выполнения поставленных задач;

3. Использованием БЛА только в тех случаях, когда это действительно необходимо. В первую очередь это относится к ситуациям, когда цель имеет сильную систему ПВО, способную нанести большие потери пилотируемым ЛА.

Следование этим условиям обеспечивает максимально эффективное применение БЛА, пренебрежение ими либо значительно понижает результативность использования БЛА, либо делает его вовсе бессмысленным. Специализированные ударные БЛА будут удовлетворять критерию «стоимость — эффективность», если они смогут выполнять не менее 5...9 боевых вылетов [4].

Результаты предварительной оценки степени соответствия функциональных возможностей типовых БЛА различного назначения своим пилотируемым аналогам показывают, что эта величина находится в пределах от 0,8 до 2,2 [3]. Далеко не во всех случаях БЛА оказывается эффективней обычной ударной авиации. Например, при использовании одноразового БЛА вся аппаратура и конструкция уничтожается при ударе по цели или сильно повреждается при возврате на площадку приземления.

Наиболее распространенным классом БЛА в настоящее время являются беспилотные самолеты разведчики (БСР). Типовая структура беспилотного разведывательного комплекса, создаваемого на базе БСР и функционирующего, как правило, в режиме разведывательно-ударного или разведывательно-огневого комплекса (РУК/РОК), представлена на рисунке 1.

Комплекс включает в себя следующие основные элементы:

- БСР с набором разведывательной аппаратуры, навигационной системой (НС), аппаратурой передачи РИ по широкополосному радиоканалу (ШРК), передачи/приема телеметрии и команд управления (ПРД ШРК, ПРМ/ПРД КУ и ТМ), состав которых может изменяться в зависимости от решаемой задачи, навигационного обеспечения, метеоусловий и времени суток в районе объекта разведки;

- стартовую позицию (СП) БСР, оборудование которой позволяет осуществлять все виды обслуживания аппарата при его эксплуатации, подготовку к вылету, эвакуацию БСР с места приземления, послеполетную подготовку с восстановлением/заменой отдельных элементов БЛА;

- наземный пункт управления (НПУ), обеспечивающий обработку, документирование и отображение РИ, получаемой по ШРК с борта БСР непосредственно (в пределах прямой радиовидимости) либо через ретранслятор, прием/передачу команд дистанционного управления (ДУ) и телеметрии (ТМ), выработку команд ДУ или коррекции маршрута, а также передачу команд целеуказания по

результатам дешифрирования и определения координат объектов (целей).

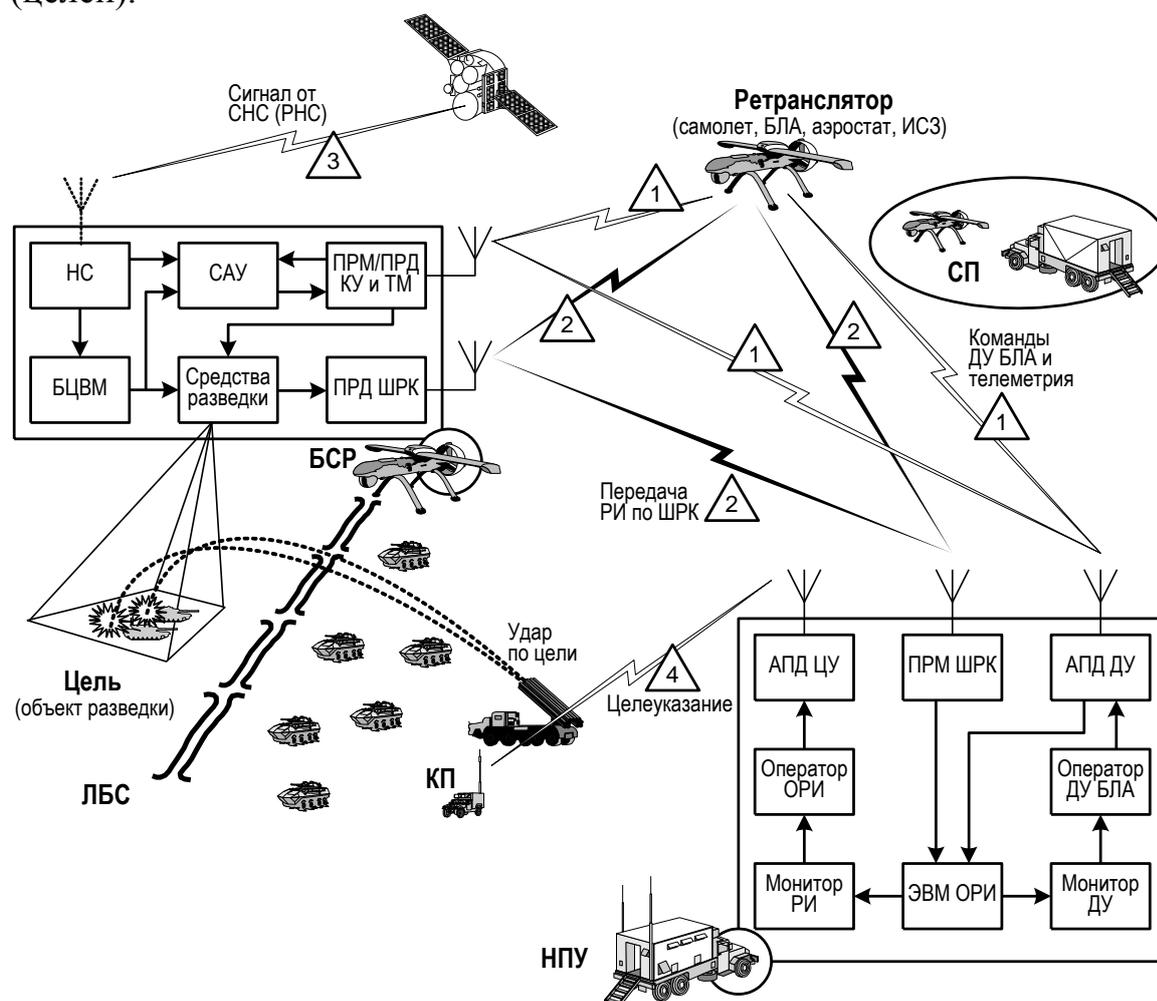


Рисунок 1 – Типовая структура беспилотного разведывательного комплекса

Данная структура является типовой и может существенно изменяться для конкретных типов БСР. Например, телеметрию и команды ДУ можно передавать по ШРК, исключив из состава БСР отдельный блок ПРМ/ПРД КУ и ТМ; в зависимости от используемого типа навигационной системы (инерциальная — ИНС, радиотехническая — РНС, спутниковая — СНС) в состав БСР может быть включен соответствующий блок; в состав средств разведки могут быть в комплексе или отдельно включены многоспектральные гиросtabilизированные оптико-электронные системы, телевизионные, инфракрасные, лазерные, радиолокационные, радиотехнические, радиационные станции разведки, средства химической разведки и др.

Основными этапами боевого применения БСР, функционирующего в режиме РУК/РОК, являются (рисунок 2):

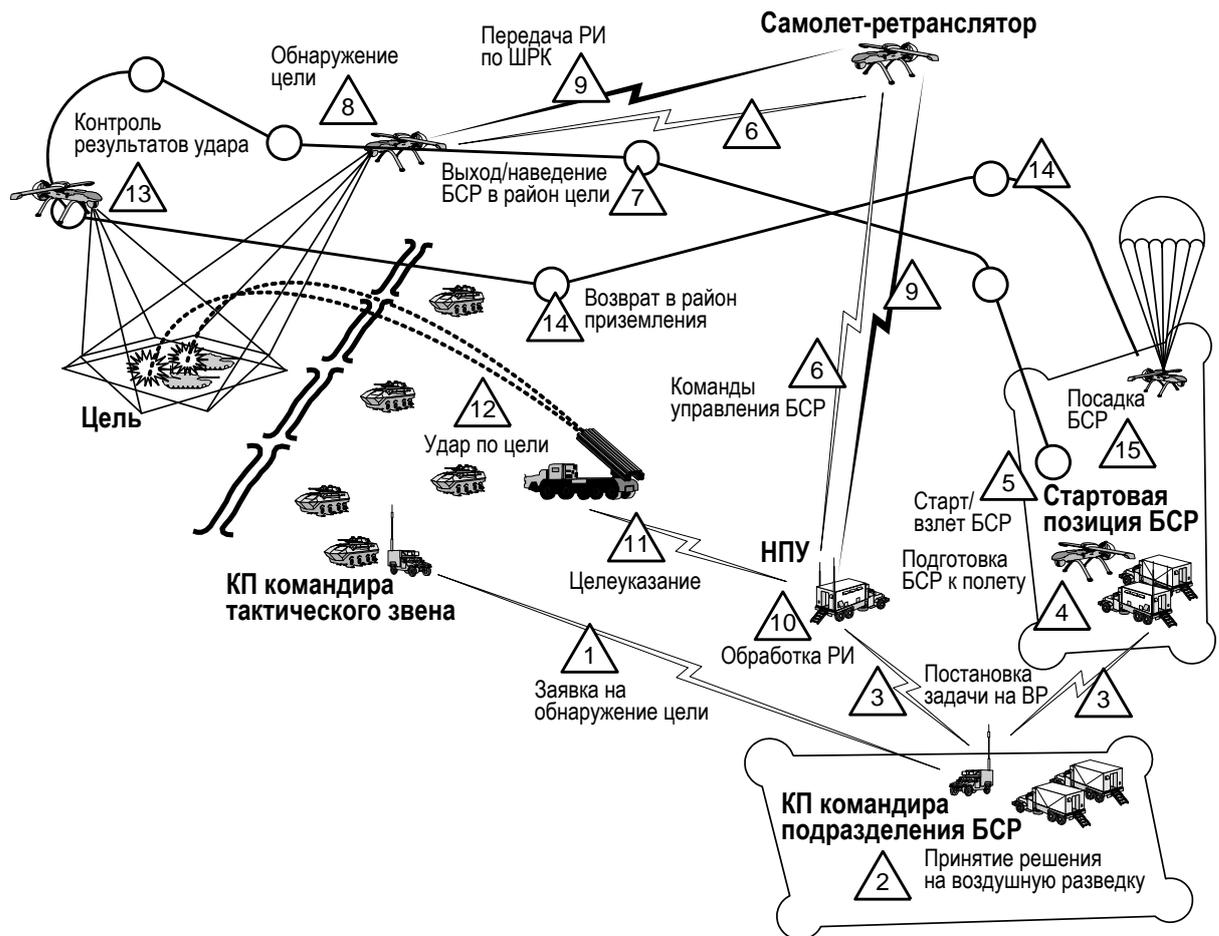


Рисунок 2 – Типовой вариант применения БСР в режиме РУК/РОК

- принятие решения (2) на воздушную разведку (выбор маршрута полета, типа (типов) средства разведки, тактического приема и т.п.) постановка задачи на применение по результатам анализа поступившей заявки (1);
- постановка задачи (3) расчетам стартовой позиции и наземного пункта управления на подготовку БСР к вылету и ведение воздушной разведки объектов противника;
- подготовка БСР к полету (4), включающая выбор и предполетную подготовку конкретного БСР – задание программы полета, предполетные установки средств разведки, навигации, связи и т.п.;
- старт (взлет) БСР (5);
- автоматический выход (по программе) и/или дистанционное наведение в район разведки (7) на основе данных систем навигации и/или команд дистанционного управления (6);
- визуальное обнаружение цели (8) по результатам обработки РИ (9), поступающей по ШПК (10);

- определение координат цели и передача данных целеуказания (11) на средства поражения;

- контроль поражения цели (13) по результатам удара (12);

- возврат БСР на аэродром базирования или площадку приземления (14);

- посадка (приземление) БСР (15);

После посадки (эвакуации с места приземления) многоцелевого БСР проводится его послеполетное обслуживание — восстановление готовности к последующему боевому применению.

Очевидно, что эксплуатация и боевое применение БСР является сложной организационно-технической задачей. Повышение эффективности БСР может быть достигнуто комплексной автоматизацией описанных выше этапов боевого применения. Полная автоматизация процессов ведения воздушной разведки с помощью БЛА на современном уровне является проблематичной. Однако основные задачи автоматизации могут быть решены в первую очередь уже в настоящее время. К ним относятся:

- поддержка принятия решения по выбору средств разведки, потребного наряда сил, потребной частоты ведения разведки;

- инженерно-штурманский расчет полета;

- выбор позиции НПУ для обеспечения уверенного приема РИ по ШРК в пределах прямой радиовидимости;

- управление воздушным движением БСР;

- наведение БСР на цель и повторный вывод БСР на цель для контроля результатов удара;

- поддержка принятия решения по определению вида, класса и типа объекта разведки;

- автоматизированное определение координат объектов;

- формирование и передача команд целеуказания по результатам воздушной разведки.

К сожалению, в силу целого ряда причин, как и в пилотируемой авиации, так и в беспилотной, разработка автоматизированных систем управления, планирования, поддержки принятия решений, информационно-расчетных и информационно-аналитических систем на протяжении многих лет финансируется по остаточному принципу, что существенно снижает боевую эффективность применения авиационных комплексов в целом. А ведь авиаторам хорошо известен лозунг о том, что победа в воздухе куется на земле. И этот лозунг становится еще более актуальным с наступлением эры беспилотных авиационных систем.

Созданная к настоящему времени группировка БАС в США уже обладает достаточным потенциалом для применения не только в локальных конфликтах и в ходе антитеррористических операций, но и в

конфликтах регионального масштаба. Так, например, в 2009 году только при поддержке войск коалиционных сил, участвующих в операциях «Несокрушимая свобода» в Афганистане и «Свобода Ираку» общий налет различных БЛА составил почти 500 тысяч часов (для сравнения, общий налет нашей авиации в Сирии составил 9 тыс. часов).

Следует особо отметить, что объем инвестиций министерства обороны США в создание БАС в настоящее время уже превышает бюджеты оборонных ведомств многих развитых стран мира и сравним с бюджетом ВКС Российской Федерации на 2016 год.

По всей видимости, война роботов (война БАС) возможна не только на экранах кино и телевидения. Она становится реальностью в ближайшем будущем и военно-политическое руководство нашей страны не должно допустить существенного отставания от США в этой перспективной области вооружений и военной техники.

ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» обладает научно-производственным потенциалом для быстрого прототипирования и ускоренной разработки автоматизированных информационных и управляющих систем различного назначения, а также создания их опытных образцов. С целью сокращения существующего отставания в области развития беспилотных авиационных систем по сравнению с передовыми авиационными державами мира необходимо в срочном порядке задать и выполнить ряд НИОКР по тематике комплексной автоматизации этой области авиации.

### **Литература**

1. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036. Department of Defense of the United States of America. Washington, D.C., 2011.

2. В.М.Ветошкин, П.С.Горшков, И.Н.Лялюк. Перспективы развития беспилотных авиационных систем США. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвящённой памяти Н.Е.Жуковского/ Сборник докладов. — М.: Издательский дом Академии имени Н.Е.Жуковского, 2016.

3. Ростопчин В.В., Румянцев С.С. Дистанционно управляемые авиационные системы. ООО «Техкомтех». <http://avia.ru/author/05.shtml>

4. Силкин А.Т., Бренер Б.А., Дробышевский А.В. Универсальные беспилотники. //«Независимое военное обозрение» №5, 2003 г.

Осипов Ю.Н., к.в.н., профессор, ведущий научный сотрудник, НИЦ ПСРТ ФГБУ ВНИИПО МЧС России;

Ершов В.И., к.в.н., доцент, старший научный сотрудник, НИЦ ПСРТ ФГБУ ВНИИПО МЧС России

### **Технология разработки программ подготовки операторов беспилотных авиационных систем**

Программы подготовки операторов БАС в соответствии с современными требованиями к организации учебного процесса должны представлять собой систему документов, разработанную и утвержденную учебным заведением с учетом отраслевых требований на основе федерального государственного образовательного стандарта дополнительного профессионального образования по соответствующему направлению подготовки, а также с учетом рекомендованной профильным учебно-методическим объединением, если таковое имеется, – примерной основной образовательной программы.

Программы подготовки операторов должны регламентировать цели, ожидаемые результаты, содержание, условия и технологии реализации образовательного процесса, оценку качества подготовки обучаемых по данному направлению подготовки и включать в себя:

- компетенции выпускников, как совокупный ожидаемый результат обучения по завершении освоения программы подготовки;
- паспорта и программы формирования у обучаемых каждой из компетенций;
- структурно-логическую схему взаимосвязи содержания учебных модулей, входящих в программу подготовки;
- учебный план;
- календарный график подготовки;
- рабочие программы учебных курсов и / или дисциплин;
- сквозные программы промежуточного и итогового контроля (*комплексных испытаний*) обучаемых на соответствие их подготовки поэтапным и итоговым ожидаемым результатам усвоения компетентностно-ориентированной программы подготовки;
- методические материалы, обеспечивающие реализацию соответствующей образовательной технологии.

**Формирование** примерного состава обязательных общекультурных и профессиональных *компетенций* операторов БАС для специалистов не представляет значительной сложности, – здесь представлен только *пример формулирования одной из специальных профессиональных компетенций*, характеризующих специфику подготовки операторов БАС.

Коды компетенций	Название компетенции	Краткое содержание / определение и структура компетенции. Характеристика (обязательного) уровня сформированности компетенции у выпускника
СПК.2.3	Владение основными методами формирования законов управления БВС при эксплуатации систем пилотирования и навигации; способность разрабатывать управляющие программы для бортовых вычислительных систем БВС	Владение основными методами формирования законов управления БВС при эксплуатации систем ПН обеспечивается, во-первых, знанием условий оптимального функционирования бортовых и наземных систем БАС и, во-вторых, и навыками реализации высотно-скоростных и маневренных возможностей БВС в фактических условиях полёта. СПК.2.3 <i>«знать»</i> СПК.2.3.01.01 состав и особенности функционирования пилотажно-навигационной системы, систем управления полётом (СУП) БВС, систем технического зрения, датчиков и анализаторов целевого мониторинга, электропитания, приёма, передачи и обработки данных; СПК.2.3.01.02 особенности дистанционного, автоматизированного (коррекции режима полёта) и программного управления БВС; <i>«уметь»</i> СПК.2.3.02.01 выполнять полёт в автоматическом режиме по программе полёта, изменять программу полёта и режим управления. СПК.2.3.02.02 переходить в режим коррекции программы полёта, в дистанционный режим управления, изменять высоту и скорость полёта БЛА в ручном и полуавтоматическом режимах управления

Следующим шагом в формировании программы подготовки операторов БАС является ***разработка паспортов и программ формирования компетенций***. Ниже представлен лишь образец документа, отражающего методику планирования процесса формирования профессиональных и специальных компетенций операторов БАС для МЧС России.

### ***Паспорт компетенции***

#### 1) Общая характеристика компетенции

##### 1.1) Определение, содержание и основные существенные характеристики компетенции

Под компетенцией ПК.07 - ***«Возможность контролировать работоспособность программно-алгоритмического обеспечения систем управления БАС специального назначения, аппаратуры получения и обработки информации»*** понимается как наличие твёрдых знаний интерфейса пользователя на АРМ оператора, так и сформированных навыков в эксплуатации аппаратуры обработки информации от всего комплекса бортовых датчиков системы технического зрения БВС.

##### 1.2) Место и значимость компетенции в совокупном ожидаемом результате обучения по завершении освоения компетентностно-ориентированной программы подготовки

По результатам экспертной оценки при выявлении актуального состава компетенций выпускников курсов подготовки операторов БАС с участием преподавательского состава, руководителей структурных

подразделений МЧС и выпускников прошлых лет; а также определения взаимосвязи данной компетенции с другими значимыми компетенциями ПК.07 является определяющей в деле обеспечения эффективности применения БАС при выполнении возлагаемых задач в условиях ЧС природного и техногенного характера.

1.3) Принятая структура компетенции актуализируется тем, что

- контроль работоспособности программно-алгоритмического обеспечения систем управления БАС специального назначения определяет, в конечном счёте, степень результативности как управления БВС в экстремальных условиях воздействия факторов ЧС природного и техногенного характера, так и выполнения, в целом, поставленных задач;

- уровень технической подготовки оператора к грамотной эксплуатации аппаратуры получения и обработки информации обеспечивает реализацию максимальных возможностей комплекса по мониторингу характера и последствий ЧС в фактических условиях обстановки.

*Структура компетенции:*

*1) составляющие (по определению, принятому в ФГОС):*

*«знать»*

ПК.07.01.01 особенности интерфейса пользователя на АРМ оператора БАС;

ПК.07.01.02 порядок ввода и изменения программы функционирования БАС на АРМ оператора;

*«уметь»*

ПК.07.02.01 контролировать индикацию режимов функционирования и исправность элементов меню программы управления БВС и ПН;

*«владеть»*

ПК.07.03.01 приёмами анализа точности выполнения БВС команд управления, поиска и определения компонентов, функционирующих некорректно.

*2) составляющие (с учетом общеевропейского проекта «TUNING»):*

- *знаниевая* – владеть основами программного обеспечения функционирования и управления БАС;

- *деятельностная* – владеть методикой использования интерфейса ПУ операторов БАС для контроля безотказной работы комплекса при выполнении задачи; получении, обработке и передачи информации;

- *ценностная* – осознание необходимости формирования знаний и навыков контроля работоспособности аппаратуры обработки информации от всего комплекса бортовых датчиков технического

зрения в рамках профессиональной деятельности по управлению БВС и их полезной нагрузкой;

3) составляющие результата образования (по таксономии Б. Блума и его последователей) в трех сферах:

- *когнитивная (познавательная): формирование знаний особенностей интерфейса пользователя на АРМ оператора, эксплуатируемого БАС;*

- *аффективная (ценностно-эмоциональная): осознание значимости грамотного формирования и контроля функционирования программно-алгоритмического обеспечения систем БАС для её безотказной и эффективной работы при выполнении возложенных задач;*

- *психомоторная: владение методологией эксплуатации систем управления БВС, аппаратуры обработки информации от всего комплекса бортовых датчиков системы технического зрения комплекса.*

1.4) Планируемые уровни сформированности компетенции у операторов БАС

№ п/п	Уровни сформированности компетенции	Содержательное описание уровня	Основные признаки уровня
1	<b>Пороговый уровень</b> (обязательный для всех обучаемых по завершении освоения программы)	Знание особенностей интерфейса пользователя на АРМ оператора БАС; порядка ввода и изменения программы функционирования БВС	Назначение органов управления и средств индикации режимов на АРМ оператора. Алгоритмы ввода и корректировки программы функционирования БВС
		Умение контролировать индикацию режимов функционирования и исправность элементов меню ввода и коррекции программы управления БВС и ПН	Соответствие индикации АРМ оператора режиму функционирования БАС, действиям по вводу и коррекции программы управления
		Владение навыками анализа точности выполнения БВС команд управления, поиска и определения компонентов, функционирующих некорректно	Комбинации сигнализации исправной и неисправной работы программного обеспечения функционирования БВС
2	<b>Повышенный уровень</b> (относительно порогового уровня)	Владение навыками рационализации алгоритмов управления БВС с АРМ оператора; поддержания работоспособности контура управления БАС при частичном отказе или некорректной работе средств сигнализации и интерфейса АРМ	Характерные неисправности системы управления БВС, отклонения в работе ПО АРМ и действия оператора по минимизации их влияния на эффективность и безопасность функционирования БАС

1.5) Общая трудоемкость формирования компетенции у «среднего» обучаемого (в часах) на «пороговом» уровне

1.5.1) прогнозируемая оценка 24 часа;

1.5.2) *оценка, полученная на основании конкретных научных исследований в учебном заведении \_\_\_\_\_ часов (если таковые ведутся).*

**Программа формирования компетенции ПК.07 – «Возможность контролировать работоспособность программно-алгоритмического обеспечения систем управления БАС специального назначения, аппаратуры получения и обработки информации»**

2.1. Цель (и) программы формирования данной компетенции заключается в подготовке выпускника до уровня сформированности навыков анализа точности выполнения БВС команд управления, определения признаков безотказной работы комплекса программного обеспечения систем управления БАС, получения и обработки полезной информации, а также поиска и определения компонентов АРМ, функционирующих некорректно.

2.2. Необходимое содержание обучения для обеспечения формирования данной компетенции:

- *базовая структура знаний по данной компетенции включает усвоение назначения органов управления и средств индикации режимов на АРМ оператора; алгоритмов ввода и корректировки программ функционирования БВС и его ПН;*

- *разделы дисциплин, модулей, практик, на предметном содержании которых необходимо (или возможно) сформировать данную компетенцию:*

этап 1 – «Подготовка БАС к выполнению задач по предназначению»:

раздел 2 – «Состав, основные характеристики компонентов БАС»;

раздел 3 – «Подготовка БАС к применению»;

раздел 4 – «Порядок выполнения полётного задания»;

этап 2 – «Практические действия расчёта БАС конкретного типа при выполнении задач по предназначению»:

раздел 5 – «Действия расчёта БАС при развертывании комплекса и подготовке его к применению»;

раздел 6 – «Действия расчёта БАС при выполнении полётного задания».

2.3. Основные пути, методы и технологии формирования данной компетенции представлены организационными формами теоретической (лекция, семинар, консультация и др.) и практической (практическое занятие, работа на компьютерном симуляторе, самостоятельная работа под руководством преподавателя) подготовки, а также методами обучения: объяснительно-наглядным, репродуктивным, групповыми и индивидуальными методами и приемами проблемного, программированного обучения с широким применением ЭВТ, информационных технологий и других технических средств обучения.

2.4. График и траектория формирования компетенции (фрагмент)

№ код	Участвующие в формировании данной компетенции разделы программы, фрагменты учебных дисциплин, модулей, практик	Этапы обучения и разделы программы					
		1 этап				2 этап	
		1 раздел	2 раздел	3 раздел	4 раздел	5 раздел	6 раздел
<b>Б.0</b>	НАДДИСЦИПЛИНАРНЫЕ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ УЧЕБНЫЕ МОДУЛИ						
.....							
<i>Б. 0.4.9</i>	Программирование маршрута и профиля полёта БВС. Построение маршрута полёта с использованием ПНС БВС						
<i>Б. 0.4.10</i>	Подготовка пускового и посадочного устройств. Методика выполнения взлёта, набора высоты и снижения БВС						

2.5. Формы текущего контроля усвоения материала, промежуточных и итоговых аттестаций сформированности данной компетенции и необходимые оценочные средства

В рамках формирования компетенции программой должен быть предусмотрен промежуточный контроль усвоения знаний в форме зачета по теоретическим разделам программы (этап 1: разделы 1 – 4). По результатам зачёта преподаватель совместно с инструктором практического обучения уточняет и представляет на утверждение состав расчетов для выполнения полётной практики.

По завершению практического обучения принимается комплексный экзамен, состоящий из теоретического экзамена и выполнения итогового комплексного полётного задания.

2.6. Учебно-методическое и информационное обеспечение программы формирования данной компетенции включает:

.....  
2) Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве РФ.

3) методические рекомендации по применению БАС в интересах МЧС России. (Изд. ВНИИПО, 2015 г)

4) дисциплинарно-модульное компетентностно-ориентированное учебное пособие для подготовки операторов БАС МЧС России. (Изд. ВНИИПО, 2015 г)

2.7. Основные условия, необходимые для успешного формирования данной компетенции

Предусмотрена дистанционная поддержка разделов курса, использование справочно-информационной системы (СИС ПО РТК - изд. ВНИИПО, 2015 г) и набора компьютерных симуляций и других программированных учебных материалов формирования компетенции и подготовки операторов, в целом.

**Состав, содержание и структурно-логические связи модулей, входящих в программу подготовки** - документ, являющийся элементом программы обучения, разрабатывается в соответствии с требованиями ФГОС с учетом рекомендаций по профилю подготовки. Он представляет собой табличную форму, назначением которой является установление связей содержания модулей (этапов, разделов, тем) программы подготовки с формируемыми компетенциями операторов БАС.

Коды этапов, разделов, тем	Название этапов, разделов, тем	Краткое содержание (через основные дидактические единицы)	Коды этапов подготовки, разделов, тем,		Коды формируемых компетенций
			на которые опирается содержание данного учебного модуля	для которых содержание данного учебного модуля / выступает опорой	
<b>Б 0</b>	<b>МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ КУРС (МОДУЛИ)</b>				
<b>Б 0.1</b>	<b>Этап 1 Подготовка БАС к выполнению задач по предназначению</b>				
<b>Б 0.1.1</b>	<b>Раздел 1 Организационные нормы применения БАС в интересах МЧС</b>				
.....					
Б 0.1.1/3	Тема 3 Порядок согласования и получения разрешения на использование БАС в воздушном пространстве	Формирование знаний: структуры и классификации воздушного пространства, документов, регламентирующих организацию полётов БВС; вариантов использования воздушного пространства, особенностей плановой деятельности подразделений БАС, порядка разработки, установления, введения и снятия кратковременных ограничений; особенностей выполнения полётов над морем, приграничной территорией; обязанностей оператора БВС по обеспечению безопасности полётов. Формирование умения составлять заявки на полеты БВС, получать разрешение на использование воздушного пространства; применять БВС в условиях ЧС в обособленном воздушном пространстве		Б 0.1.3/8 Б 0.1.4/11 Б 0.1.4/12 Б 0.1.4/13 Б 0.1.4/3АЧ Б 5.1.1/14 Б 5.1.2/17 Б 6.1/КЭ	ОК.02 ОК.03 ОК.04 ОК.06 ОК.09 ПК.04 ПК.05 ПК.09 СПК.2.2
<b>Б 0.1.4</b>	<b>Раздел 4 Порядок выполнения полётного задания</b>				
.....					

**Компетентностно-формирующая часть** учебного плана подготовки операторов БАС предназначена для увязывания обязательных компетенций обучаемого с временной последовательностью изучения всех учебных модулей (этапов, разделов, тем), проведением практики и др.

Недели обучения Коды учебных модулей	Распределение по неделям / этапам обучения, разделам, темам,																	Виды учебной работы и образовательных технологий	Форматы аттестации											
	1 неделя				2 неделя				3 неделя				4 неделя				5 неделя			6 неделя	7 неделя									
	Коды этапов, разделов, тем																													
Компетенции обучаемых (коды, названия)	Б 0.1.1/1	Б 0.1.1/2	Б 0.1.1/3	Б 0.1.2/4	Б 0.1.2/5	Б 0.1.2/6	Б 0.1.3/7	Б 0.1.3/8	Б 0.1.4/9	Б 0.1.4/10	Б 0.1.4/11	Б 0.1.4/12	Б 0.1.4/13	Б 0.1.4/Зач	Б 5.1.1/14	Б 5.1.1/15	Б 5.1.2/16	Б 5.1.2/17	Б 6.1/18	Б 6.1/КЭ	Л	С	ГЗ	ПЗ	Тр З	СЗ	Зач.	КЭ		
<b>ОК</b> <b>ОБЩЕКУЛЬТУРНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>																														
.....																														
<b>ПК</b> <b>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>																														
.....																														
ПК .07 Возможность контролировать работоспособность программно-алгоритмического обеспечения систем управления БАС специального назначения, аппаратуры получения и обработки информации						+			+																					
<b>ПК</b> <b>СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ</b>																														
.....																														
СП К 2.2 Способность ориентироваться в особенностях выполнения задачи, включая процедуры согласования использования БВС в воздушном пространстве			+			+	+	+	+	+		+			+	+	+	+		+	+									
.....																														

*Дисциплинарно-модульная часть* учебного плана призвана для отображения логической последовательности освоения разделов программы подготовки, обеспечивающих формирование компетенций

Номера и наименование этапов подготовки, разделов, дисциплин и тем	Всего часов учебных занятий по расписанию учебных занятий	В том числе - учебных занятий с преподавателем	Из них по видам учебных занятий						Время, отводимое на самостоятельную работу
			Лекция	Семинар	Групп. упражнение	Практическое занятие	Тренажи, проведение полётов	Экзамен / зачет с оценкой	
<b>Этап 1 Подготовка БАС к выполнению задач по назначению</b>									

<b>Раздел 1 Организационные нормы применения БАС в интересах МЧС</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
.....									
Тема 2 Требования к составу, уровню подготовки и оснащению расчёта операторов и обслуживающего персонала БАС. Допуск к эксплуатации БАС. Требования к охране труда и обеспечению безопасности персонала при эксплуатации БАС	6	4	2	2	-	-	-	-	2
<b>Раздел 2 Состав, основные характеристики БАС</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>18</b>
Тема 4 Компонентные особенности БВС, предназначение элементов конструкции ЛА и оборудования полезной нагрузки	20	14	4	2	2	6	-	-	6
.....									
<b>Раздел 3 Подготовка БАС к применению</b>	<b>50</b>	<b>32</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>18</b>
Тема 7 Виды подготовок БАС к выполнению полётного задания, их содержание и методика проведения. Средства технического обслуживания.	26	16	2	2	-	12	-	-	10
.....									
<b>Раздел 4 Порядок выполнения полётного задания</b>	<b>90</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>32</b>
Тема 11 Особенности выполнения задач мониторинга объектов, тушения пожаров, аварийно-спасательных работ, ретрансляции связи и сигналов управления. Определение порядка и режимов функционирования ПН	16	10	2	2	-	2	4	-	6
.....									
<b>Зачёт по этапу подготовки.</b> Утверждение состава расчётов для проведения практических запусков БВС	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>6</b>
<b>Этап 2 Практические действия расчёта БАС при выполнении задач по назначению</b>									
<b>Раздел 5 Действия расчёта при развертывании комплекса и подготовке его к применению</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>16</b>
Тема 14 Подготовка стартовых посадочных позиций, организация связи и оценка условий выполнения задачи	14	8	-	-	-	2	6	-	6
<b>Раздел 6 Действия расчёта при выполнении полётного задания</b>	<b>102</b>	<b>78</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>78</b>	<b>-</b>	<b>24</b>
Тема 17 Выполнение полётного задания в комплексе с применением систем полезной нагрузки. Обработка и передача полученной информации	54	42	-	-	-	-	42	-	12
<b>Этап 3 Комплексные испытания и оценка сформированности компетенций, как совокупного ожидаемого результата обучения по завершении освоения программы подготовки операторов БАС</b>									

<b>Комплексный экзамен</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	-	-	-	-	-	<b>6</b>	<b>12</b>
1. Итоговый контроль сформированности компетенций выпускника. Зачётное выполнение полётного задания									
Резерв времени	<b>12</b>	<b>12</b>	-	-	-	-	<b>12</b>	-	-
<b>Всего по программе</b>	<b>378</b>	<b>252</b>	<b>38</b>	<b>22</b>	<b>6</b>	<b>52</b>	<b>126</b>	<b>8</b>	<b>126</b>

***Использованные источники***

1 Программа подготовки операторов БАС МЧС России. Изд. ВНИИПО, 2015 г.;

2 Учебное пособие для подготовки операторов БАС МЧС России. Изд. ВНИИПО, 2015 г.

Павлович А.В., к.в.н., подполковник, старший преподаватель 41 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Щекунских В.О., к.т.н., доцент, полковник, доцент 212 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Свищо В.С., к.т.н., доцент, полковник, начальник 41 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

### **Динамическое моделирование применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами малой дальности и ближнего действия**

Представлена динамическая модель, описывающая этапы и способы применения тактических разведывательных беспилотных летательных аппаратов малой дальности и ближнего действия.

Благодаря новейшим авиационным и информационным технологиям беспилотная авиация стремительно развивается. Более 35 стран активно создают и применяют беспилотные летательные аппараты (БЛА) для выполнения широкого круга задач в мирное время и локальных войнах, вооруженных конфликтах последних десятилетий. Организационные структуры соединений и частей ведущих зарубежных стран продолжают наращиваться подразделениями, оснащенными беспилотными авиационными системами (комплексами) [1-3]. Большое внимание разработке и применению комплексов с БЛА различных типов и модификаций в последнее время уделяется и в Российской Федерации.

Под беспилотными авиационными системами (комплексами с БЛА) понимается совокупность функционально взаимосвязанных в единую систему летательных аппаратов (одного или нескольких) и специальных наземных технических средств, обеспечивающих целевое применение БЛА в воздухе и техническую эксплуатацию комплекса в целом в течение всего жизненного цикла.

Для моделирования пространственных и временных параметров применения комплексов с БЛА малой дальности и ближнего действия (далее по тексту – тактических БЛА) используются соответствующие динамические модели. Такое моделирование позволяет сформировать наиболее полный перечень тактических и специфических элементов (объектов) обстановки, принимающих непосредственное участие в генерации и выполнении конкретной типовой задачи определенными исполнительными элементами комплексов с БЛА, а также осуществить их ранжирование по важности.

Весь процесс функционирования исследуемых систем (сетей, подсистем, комплексов, процессов) может быть представлен в виде конечной совокупности дискретных состояний. При этом переход из состояния в состояние происходит через случайные промежутки времени, которые в каждом конкретном случае могут быть определены исходя из физических особенностей как видов воздействия на конкретные объекты исследуемой системы, так и процесса ее дезорганизации в целом. Анализ известных способов математического представления динамики поведения сложных систем [4], имеющих такие особенности, показывает, что наиболее удобной формой ее отображения является ориентированный временной граф дискретных состояний системы (процесса).

Разработанные динамические модели применения тактических разведывательных БЛА (рисунок 1) представляют собой графы дискретных состояний с непрерывным временем и процедуры перехода между этими состояниями.

Для каждого временного отрезка подготовки, принятия решения о начале и завершении применения БЛА, начала и окончания функционирования радиоэлектронных систем и средств БЛА разработаны графы, которые описывают все возможные варианты развития исследуемых процессов. Выбор конкретного варианта зависит от степени готовности, состояния систем и путей протекания процессов на нижних уровнях. На графах обозначены «перечеркнутые» переходы, для которых длительность перехода зависит от эффективности внешнего радиоэлектронного воздействия (постановки помех). С использованием динамических моделей определяются: время начала и продолжительность типового эпизода (ситуации); циклов управления различными системами (подсистемами) БЛА; уязвимые состояния, обусловленные внешними радиоэлектронным ( $K^P$ ) и огневым ( $K^{II}$ ) воздействиями.

В моделях применения тактических разведывательных БЛА представлены следующие этапы: подготовки к полету и взлет; съема координат на основе данных спутниковой радионавигационной системы (СРНС); корректировки местоположения; уточнения маршрута полета; вхождения в зону ведения разведки; ведения разведки и передачи данных на наземные пункты управления (НПУ) и потребителям в реальном масштабе времени по различным (выбранным – исправным, высокоскоростным) каналам; окончания работы. Показана работа важных с позиции защиты от радиоэлектронного воздействия линий (каналов) управления, связи, передачи данных, аппаратуры потребителей СРНС и оптикоэлектронных средств (ОЭС) разведки, размещенных на БЛА.

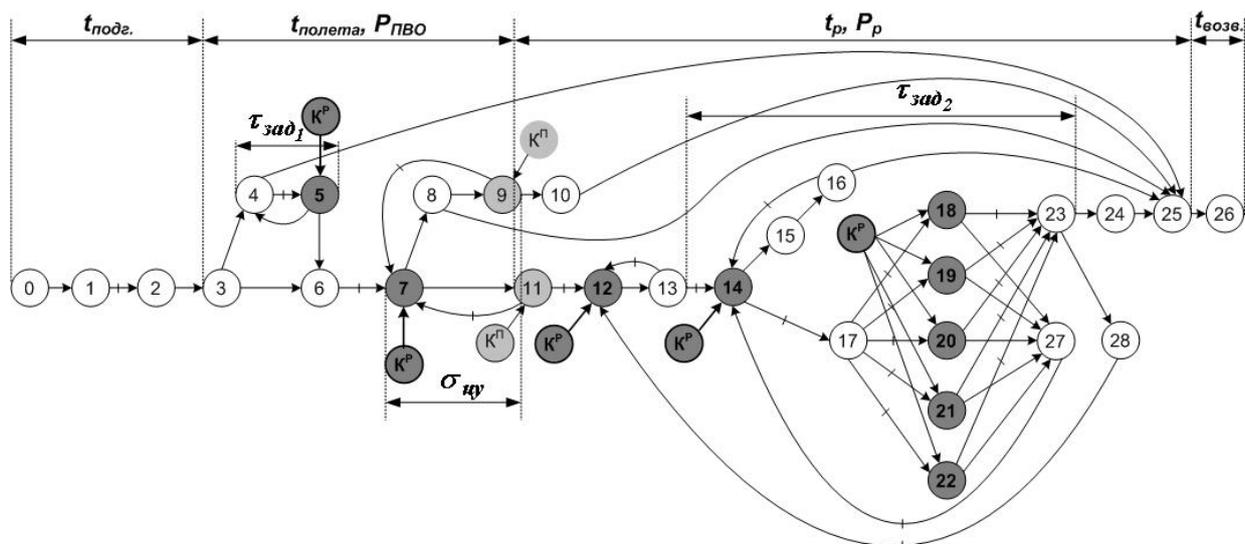


Рисунок 1 – Динамическая модель (граф) применения тактических разведывательных беспилотных летательных аппаратов (вариант)

На рисунке 1 в модели применения тактических разведывательных БЛА (РБЛА) представлены следующие состояния:

0 – комплекс с БЛА готов к выполнению задач по основному назначению;

1 – получен приказ о запуске РБЛА, полетное задание сформировано и введено в систему управления РБЛА, РБЛА готов к взлету;

2 – с НПУ в подсистему управления РБЛА поступила команда на взлет;

3 – произведен пуск, РБЛА взлетел;

4 – маршрут и параметры полета РБЛА не соответствуют заданным;

5 – с НПУ произведена корректировка полета РБЛА;

6 – маршрут и параметры полета РБЛА соответствуют заданным;

7 – СРНС работает (не нарушена), на основе данных СРНС произведен съем координат РБЛА, корректировка его местоположения, уточнение маршрута полета;

8 – работа СРНС нарушена, на основе данных инерциальной навигационной системы (ИНС) корректировка местоположения РБЛА, уточнение маршрута полета РБЛА относительно текущих координат (местоположения);

9 – РБЛА вошел в зону ведения разведки с ошибкой (целеуказания – ЦУ), определенной временем полета без СРНС (по ИНС, программе);

10 – работа СРНС не восстановлена, накоплена значительная ошибка определения координат (местоположения) РБЛА;

- 11 – РБЛА вошел в начало зоны ведения разведки без ошибки;
- 12 – на РБЛА включено ОЭС, ведется оптикоэлектронная разведка по маршруту полета в заданной зоне (районе);
- 13 – в системе сбора, обработки и передачи информации РБЛА проведено накопление (архивация и т.д) достаточного (максимального) объема полученных разведданных для последующей их передачи на НПУ (потребителям) в реальном масштабе времени и/или записи на штатный носитель информации;
- 14 – проведен поиск исправного высокоскоростного канала передачи данных на НПУ (потребителям);
- 15 – каналы передачи данных с РБЛА на НПУ (потребителям) неисправны, передача разведданных в реальном масштабе времени невозможна;
- 16 – разведывательная информация сохранена на штатный носитель информации на РБЛА с целью накопления и последующей доставки на НПУ в виде файла (файлов);
- 17 – найден исправный канал (каналы) передачи данных с РБЛА на НПУ (потребителям), система передачи данных РБЛА готова к передаче разведданных в реальном масштабе времени на НПУ (потребителям);
- 18 – с РБЛА проведена передача информации (ретрансляция сигнала) через НПУ по каналам авиационной связи;
- 19 – с РБЛА проведена передача информации (ретрансляция сигнала) через выносной терминал по каналу передачи данных LOS (Line-of-Sight – «прямой видимости»);
- 20 – с РБЛА проведена передача информации (ретрансляция сигнала) на выносной видеотерминал по каналу LOS;
- 21 – с РБЛА проведена передача информации (ретрансляция сигнала) через НПУ по каналу передачи данных LOS;
- 22 – с РБЛА проведена передача информации (ретрансляция сигнала) по дополнительным (перспективным) каналам BLOS (Beyond-Line-of-Sight – «вне прямой видимости»);
- 23 – разведывательная информация с РБЛА на НПУ (потребителям) передана, срывов нет;
- 24 – данных, полученных с РБЛА, достаточно, время нахождения в заданной зоне (районе) РБЛА вышло;
- 25 – в систему управления РБЛА поступила команда (или запрограммировано) на окончание работы в заданной зоне (районе) и возвращение на «базу»;
- 26 – РБЛА закончил работу в заданной зоне (районе) и вернулся на «базу»;

27 – разведывательная информация с РБЛА на НПУ (потребителям) не передана или есть срывы в передаче данных (информация передана с ошибками);

28 – данных, полученных с РБЛА, недостаточно, время нахождения в заданной зоне (районе) РБЛА не вышло.

Таким образом, рассмотренная динамическая модель, включающая ориентированные временные графы состояний, является важным и неотъемлемым элементом при реализации системного подхода к моделированию применения разведывательных комплексов с БЛА малой дальности и ближнего действия с учетом радиоэлектронно-огневого воздействия на информационно-управляющие подсистемы БЛА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Чекунов А. Программы создания беспилотных авиационных систем в интересах вооруженных сил США // Зарубежное военное обозрение. – 2014. – № 9. – С. 65-71.

2 Щербаков В. Ударные БЛА // Аэрокосмическое обозрение. – 2013. – № 6. – С. 22-33.

3 Материалы долгосрочного плана развития беспилотных авиационных систем США (UAS ROADMAP 2005) // Аэрокосмическое обозрение. – 2009. – № 1. – С. 48-58.

4 Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

Печурин В.В., к.т.н., начальник лаборатории, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники;

Гайчук Ю.Н., адъютант, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники;

Балдычев М.Т., адъютант, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники

### **Влияние геометрии расположения беспилотных летательных аппаратов на погрешность определения местоположения источника радиоизлучения**

В настоящее время особую актуальность приобретает применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для решения задач поиска и обнаружения пропавших аварийных маячков и других источников радиоизлучения (ИРИ). Это обусловлено возможностью доставки и непосредственного их размещения и барражирования над районом нахождения пропавших ИРИ, особенно в местах труднодоступных для наземных средств передвижения.

Известно, что минимальную погрешность определения координат ИРИ из существующих пассивных методов обеспечивает разностно-дальномерный метод (РДМ) определения местоположения (ОМ) [1]. При этом в литературе достаточно подробно рассмотрены вопросы исследования погрешности определения местоположения ИРИ РДМ ОМ в двухмерном пространстве. Однако, в связи с тем, что рельеф местности Земли является неровным и на нем присутствуют некоторые естественные и искусственные препятствия (горные возвышенности, заброшенные постройки, шахты, и т.д) требуется необходимость исследования погрешности определения местоположения ИРИ, с определением высоты их нахождения, в трехмерном пространстве.

Основой РДМ ОМ является измерение разности расстояний от ИРИ до размещенных в разных точках пространства опорного и периферийных пунктов приема (ПП), которые конструктивно входят в состав БЛА. Расстояние от ИРИ до  $i$ -го ПП в пространстве описывается выражением

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}, \quad (1)$$

где  $(x, y, z)$  – координаты ИРИ,  $(x_i, y_i, z_i)$  – координаты  $i$ -го ПП в пространстве,  $i = 1, \dots, N$  – номер ПП,  $N$  – количество ПП.

Погрешность ОМ в пространстве рассчитывается в соответствии с выражением:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\Delta r}} = \left[ \text{tr} \left( (H^T H)^{-1} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\Delta r}$  – погрешность определения разности расстояний,  $tr(\ )$  – след матрицы, рассчитывающийся как сумма элементов главной диагонали матрицы,  $H$  – матрица частных производных от  $r_i$ ,  $(\ )^T$  – транспонированная матрица,  $(\ )^{-1}$  – обратная матрица.

Матрица  $(H^T H)^{-1}$  является ковариационной матрицей погрешностей ОМ, а элементы ее главной диагонали представляют собой дисперсии ошибок пространственных координат  $(\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2)$  [2].

Матрица частных производных по  $\frac{\partial r_i}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial r_i}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial r_i}{\partial z}$  для РДМ имеет

вид

$$H = \begin{bmatrix} \frac{x-x_2}{r_2} - \frac{x-x_1}{r_1} & \frac{y-y_2}{r_2} - \frac{y-y_1}{r_1} & \frac{z-z_2}{r_2} - \frac{z-z_1}{r_1} \\ \frac{x-x_3}{r_3} - \frac{x-x_1}{r_1} & \frac{y-y_3}{r_3} - \frac{y-y_1}{r_1} & \frac{z-z_3}{r_3} - \frac{z-z_1}{r_1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{x-x_N}{r_N} - \frac{x-x_1}{r_1} & \frac{y-y_N}{r_N} - \frac{y-y_1}{r_1} & \frac{z-z_N}{r_N} - \frac{z-z_1}{r_1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Из этого следует, что погрешность ОМ ИРИ, без учета погрешности определения разности расстояний, зависит только от количества, собственного местоположения ПП и координат ИРИ. Это обуславливает необходимость исследования геометрии взаимного расположения БЛА в пространстве, в том числе их необходимого количества, с целью максимального снижения погрешности ОМ ИРИ.

Известно, что для организации разностно-дальномерной системы определения местоположения ИРИ в пространстве требуется не менее четырех ПП [3], которые должны находиться в вершинах тетраэдра на рассчитанных высотах. При такой геометрии расположения ПП в пространстве погрешность ОМ ИРИ зависит от высоты подъема всех ПП над поверхностью и расстояния между ПП, находящимися в основании тетраэдра. Минимальная погрешность ОМ ИРИ обеспечивается под опорными ПП, находящимся в вершине тетраэдра над его нижним основанием. Высота подъема опорного ПП не влияет на погрешность ОМ ИРИ в точке под ним [4].

Из [4] следует, что оптимальной геометрией расположения в пространстве ПП, количество которых стремится к бесконечности, является конус. В частных случаях это будет пирамида с количеством вершин в основании  $N-1$ . Исследуем в соответствии с выражениями (1-3), как изменяется погрешность  $\sigma_0$  ОМ ИРИ в точке под опорным ПП в

зависимости от количества периферийных ПП, а также расстояния между ними и опорным ПП, т.е. радиуса основания пирамиды  $r$ .

При исследованиях зависимости погрешности ОМ от количества ПП были приняты следующие ограничения: размер района поиска ИРИ 50x50 км, высота подъема периферийных БЛА  $h_{\text{БЛА}} = 1$  км, высота опорного БЛА  $h_0 = 1,5$  км. Вычисления проводились для погрешности ОМ  $\sigma/\sigma_{\Delta r}$ , без учета погрешности определения разности расстояний. Результаты представлены на рисунке 1.

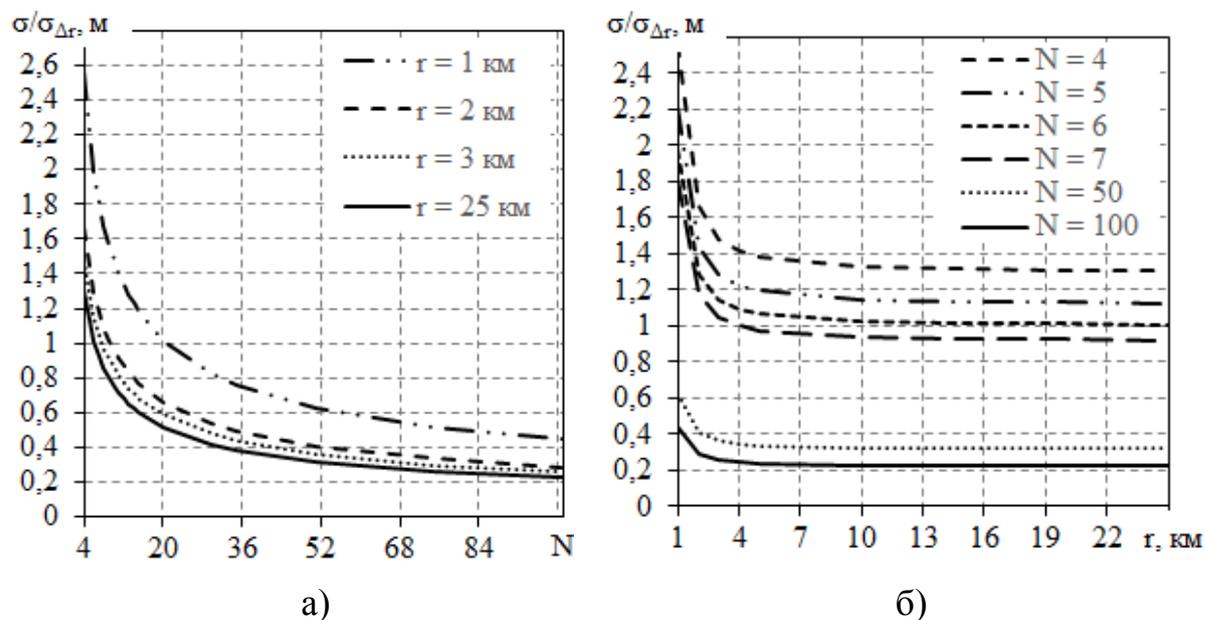


Рисунок 1 – Зависимость погрешности ОМ  $\sigma/\sigma_{\Delta r}$  от:

а) количества периферийных ПП  $N$ ; б) радиуса основания пирамиды  $r$

Из рисунка видно, что погрешность ОМ ИРИ под опорным ПП уменьшается при увеличении количества ПП и радиуса основания пирамиды. При этом чем больше количество ПП и радиус основания пирамиды, тем меньше изменяется погрешность ОМ. При увеличении числа ПП до 1000 при  $r = 5$  км погрешность ОМ уменьшается до 0,076 м, при  $r = 25$  км – до 0,0714 м. В целом выбор числа ПП зависит от их стоимости и требований к погрешности ОМ. Увеличение радиуса пирамиды больше 10 км становится не целесообразным в связи с тем, что погрешность ОМ далее уменьшаться не значительно. Исходя из этого дальнейшие исследования погрешности ОМ были проведены для района поиска ИРИ 10x10 км.

На рисунке 2 показаны поверхности равной погрешности для различного числа периферийных ПП. При этом для того, чтобы их было визуально лучше рассмотреть, поверхности были рассчитаны для

погрешностей ОМ, при которых фигура имеет наибольший объем в границах рисунка.

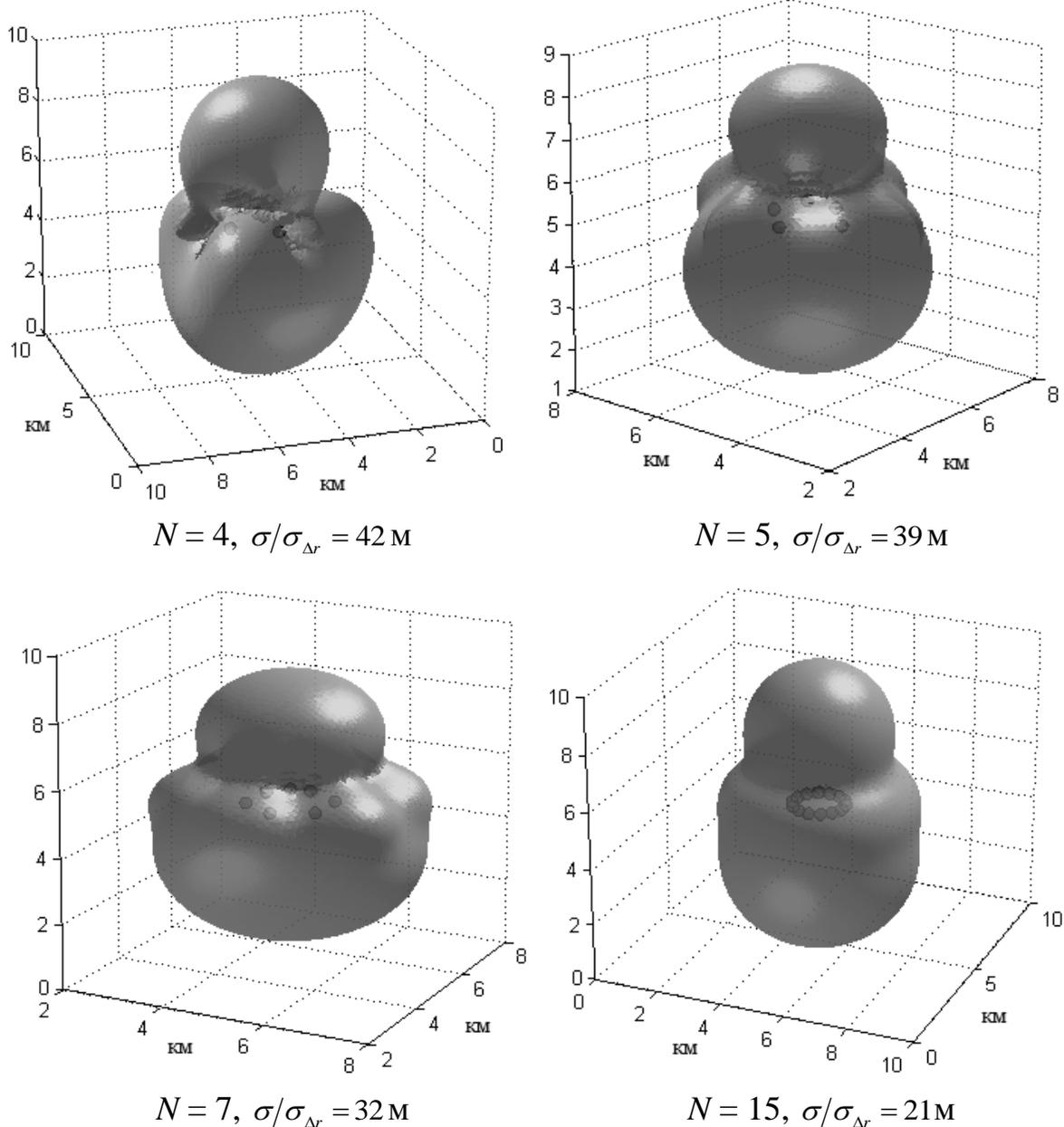


Рисунок 2 – Поверхности равной погрешности при различном количестве ПП

Кроме этого были проведены исследования зависимости погрешности ОМ от количества ПП и высоты их подъема  $h_{\text{БЛА}}$ . При этом были приняты следующие ограничения: высота подъема периферийных

ПП  $h_{\text{БЛА}} \leq 10$  км, высота опорного ПП  $h_0 = h_{\text{БЛА}} + 500$  м. Вычисления проводились для погрешности ОМ  $\sigma/\sigma_{\Delta r}$  без учета погрешности

определения разности расстояний. Результаты представлены на рисунке 3.

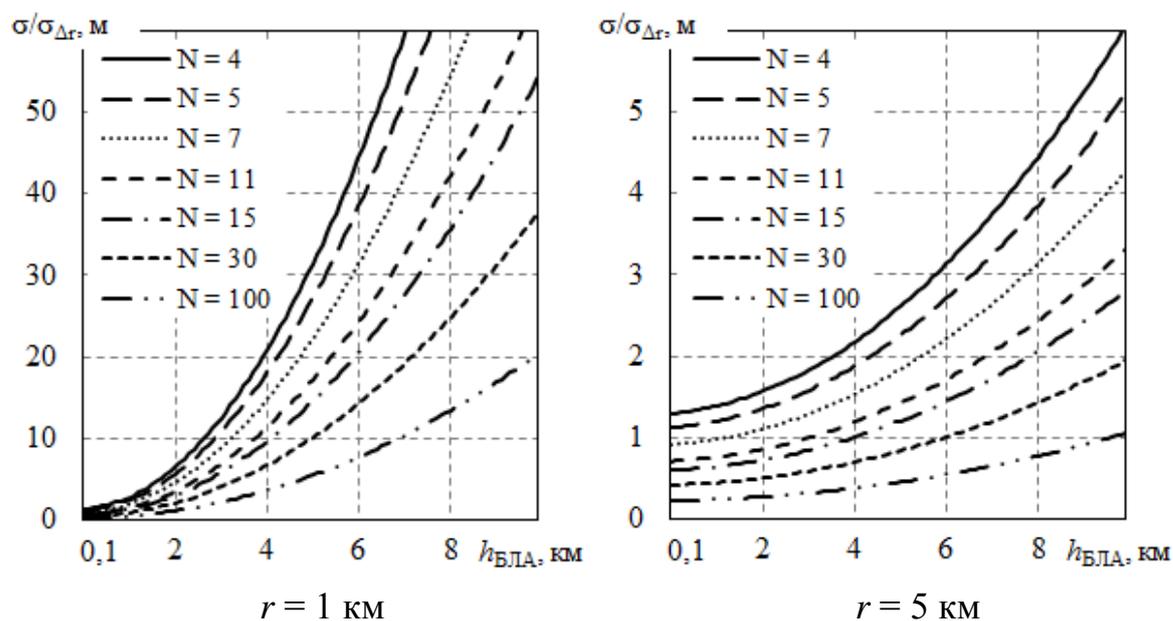


Рисунок 3 – Зависимость погрешности ОМ  $\sigma/\sigma_{\Delta r}$  от высоты подъема периферийных ПП  $h_{\text{БЛА}}$

Из рисунка 3 видно, что минимальная погрешность ОМ ИРИ достигается при размещении ПП на самой низкой исследуемой высоте в 100 м. Однако в некоторых условиях не всегда представляется возможным размещать ПП на низких высотах. Поэтому для снижения погрешности ОМ целесообразно увеличивать радиус основания пирамиды. Так, например, увеличение радиуса основания пирамиды с 1 км до 5 км приводит приблизительно к десятикратному снижению погрешности ОМ. Но как следует из Рисунок 1 дальнейшее увеличение радиуса основания пирамиды становится не целесообразным в связи с тем, что погрешность ОМ далее уменьшаться не значительно.

Таким образом, из проведенного исследования следует, что для снижения погрешности ОМ ИРИ в разностно-дальномерной системе из группы БЛА, необходимо размещать ПП в вершинах пирамиды. Кроме этого снижение погрешности ОМ достигается уменьшением высоты подъема ПП, увеличением количества периферийных ПП и расстояния между ними. Оптимальной геометрией расположения в пространстве ПП, количество которых стремится к бесконечности, является конусная пирамида. В частных случаях это будет пирамида с количеством вершин в основании, равным числу периферийных ПП.

#### Список литературы

1. Кондратьев, В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков; под ред. проф. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
2. Гантмахер, Ф.Р. Теория матриц / Под ред. Д.П. Желобенко. Изд. 2-е дополнение. – М.: Наука, 1966. – 576 с.
3. Сайбель, А.Г. Введение в теорию определения местоположения объектов радиотехническими методами / А.Г. Сайбель. – СПб.: Военный инженерно-космический университет имени А.Ф.Можайского, 2000. – 93 с.
4. Гайчук, Ю.Н. Исследование погрешности определения местоположения источников радиоизлучений группой БЛА / Гайчук Ю.Н., Печурин В.В., Серебряков Ю.И. // Международный научно-технический журнал "Наукоемкие технологии", 12, 2016, т. 17 – Журнал Череповецкого высшего военного училища радиоэлектроники, вып. 8, 2016, – Москва, – с. 34-39.

Платонов В.Е., начальник кафедры организации материально-технического обеспечения ФСБ России, Военная академия материально-технического обеспечения Министерства Обороны РФ

### **Тактика применения беспилотных летательных аппаратов с высокой степенью автономности на удаленных и труднодоступных участках государственной границы в условиях лесисто-болотистой местности**

Охрана государственной границы СССР осуществлялась с высокой эффективностью в условиях применения преимущественно войскового способа охраны государственной границы, а также высокой насыщенности подразделений, непосредственно осуществляющих охрану государственной границы, личным составом и техникой. Участок ответственности пограничной заставы в среднем составлял около 15 километров.

Насыщенность рубежа охраны государственной границы личным составом (исключая районы Севера) в 70-е годы 20 века составляла в среднем 2,5-3 чел/км; в местах повышенной опасности 4-6 чел/км, а на направлениях со сложной оперативной обстановкой численность личного состава доходила до 15-17 чел/км.

Типовой участок государственной границы оборудовался системой инженерных сооружений и заграждений, включавшей в себя, в том числе, рубеж основных инженерных сооружений, состоящий, в основном, из сигнализационного комплекса и контрольно-следовой полосы. По сигналу тревоги, поступавшему на стационарную часть сигнализационного комплекса, расположенную в пункте постоянной дислокации пограничной заставы, на «сработавший» участок выдвигался пограничный наряд «тревожная группа» и осуществлял осмотр<sup>8</sup> «сработавшего» и смежных с ним участков сигнализационного комплекса, а так же примыкающей к нему местности, в том числе и контрольно-следовой полосы. В случае выявления признаков нарушения государственной границы, пограничный наряд осуществлял поиск нарушителей государственной границы<sup>9</sup>. В случае отсутствия нарушения государственной границы, пограничный наряд возвращался

---

<sup>8</sup> Осмотр – способ охраны государственной границы пограничными нарядами, заключающийся в обследовании пограничными нарядами местности, местных предметов, сигнализационных и контролирующих средств, в целях обнаружения нарушителей, их следов и других признаков нарушения государственной границы.

<sup>9</sup> Поиск нарушителей государственной границы - способ охраны государственной границы пограничными нарядами, заключающийся в тщательном обследовании пограничными нарядами определенного района (направления, маршрута) в целях обнаружения нарушителей. Он применяется при обнаружении следов и других признаков нарушения границы, а также с получением данных о появлении нарушителей на охраняемом участке.

в пункт постоянной дислокации пограничной заставы. Данная тактика действия была достаточно эффективна в условиях войскового способа охраны государственной границы, а также высокой насыщенности пограничных застав личным составом и техникой

В настоящее время охрана государственной границы Российской Федерации осуществляется преимущественно оперативным способом охраны<sup>10</sup>, что предполагает сокращение количества отделений (пограничных застав) и увеличение участков их ответственности, что приводит к снижению плотности сил и средств на каждый километр границы. В данных условиях, представляется достаточно актуальной проблема поиска перспективных средств вооружения и оптимальных способов использования их в новых условиях, в целях эффективного выполнения функций по охране государственной границы.

По сути, применение оперативного способа охраны государственной границы определяет основной способ получения информации о совершенном или готовящемся нарушении государственной границы и ее режимов, но порядок проверки добытой информации остался таким же, как проверка информации, поступившей от технических средств охраны границы. Т.е. при поступлении оперативной информации о совершенном или готовящемся нарушении государственной границы, требуется визуальное подтверждение наличия признаков нарушения государственной границы, которое осуществляется либо пограничными нарядами, либо оперативными сотрудниками. Как ранее упоминалось, с переходом к преимущественно оперативному способу охраны границы, участки ответственности отделений (пограничных застав) увеличились, а плотность сил и средств на каждый километр границы, по сравнению с войсковым способом, была значительно снижена. В условиях лесисто-болотистой местности, часть полученной оперативной информации проверяется с большим опозданием, т.к. пограничные наряды и оперативные сотрудники физически не успевают осуществить ее проверку в короткие сроки, ввиду труднодоступности и отдаленности участков государственной границы, а также большого количества поступающей информации.

Вышеописанную проблему представляется возможным решить следующими способами:

1. Увеличить количество сотрудников, чем повысить плотность сил и средств на километр государственной границы.

---

<sup>10</sup> Оперативная деятельность – это вид деятельности, осуществляемый гласно и негласно оперативными подразделениями государственных органов, уполномоченных на то Федеральным законом РФ «Об оперативно-розыскной деятельности» от 12 августа 1995 г. Оперативный способ охраны границы – это способ, при котором основные задачи выполняются не войсковыми подразделениями, а специально подготовленными профессиональными оперативными специалистами.

2. Увеличить скорость передвижения (доставки) пограничных нарядов (оперативных сотрудников), применив для этих целей высокоскоростные транспортные средства, вплоть до авиации.

3. Применить перспективный образец вооружения, который сможет в кратчайшие сроки и в режиме реального времени осуществить визуальное подтверждение наличия (отсутствия) признаков нарушения государственной границы на ее удаленных и труднодоступных участках.

Первый способ, отпадает сам собой, т.к. концепция перехода на преимущественно оперативный метод охраны границы предполагала сокращение количества сотрудников.

Второй способ имеет право на жизнь, но ввиду его низкой экономической эффективности, а также ограниченной возможности применения авиации в условиях лесисто-болотистой местности, связанной с невозможностью осуществления посадки даже вертолетов, смысл его применения теряется.

Самым перспективным, представляется третий способ решения проблемы проверки информации о совершенном или готовящемся нарушении государственной границы и ее режимов в условиях лесисто-болотистой местности. Перспективным образцом вооружения, указанном в третьем способе, может стать беспилотный летательный<sup>11</sup> аппарат с высокой степенью автономности.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) известны давно и довольно успешно применяются в охране государственной границы в условиях степей, но для их массового распространения есть один сдерживающий фактор – для управления БЛА необходим обученный оператор. С учетом нормативов отдыха сотрудников, на 1 круглосуточный пост управления одним БЛА требуется 5,17 сотрудников. Путем несложных расчетов получаем, что для функционирования двух БЛА (по одному на каждый фланг) в режиме круглосуточного патрулирования, отделению (пограничной заставе) необходимо иметь 11 сотрудников – операторов БЛА. Из вышеизложенного следует вывод, что использование дистанционно управляемых БЛА в режиме круглосуточного патрулирования государственной границы приводит к увеличению численности сотрудников отделений (пограничных застав) и дополнительным экономическим затратам на обучение этих сотрудников.

Под термином «высокая автономность» подразумеваются следующие характеристики БЛА:

---

<sup>11</sup> БЛА (Беспилотный летательный аппарат), он же UAV (Unmanned aerial vehicle) – это летательный аппарат тяжелее воздуха, оснащенный двигательной установкой, управляемый автономно, или с помощью сигналов наземной системы управления. К БЛА не относятся баллистические, полу баллистические и крылатые ракеты, а также артиллерийские боеприпасы.

автономное выдвижение к заданному району поиска по оптимальному маршруту с учетом метеорологических условий и особенностей рельефа местности;

возможность автономного (по заданному алгоритму) ведения поиска признаков нарушения (попыток нарушения) государственной границы в заданном районе поиска;

при обнаружении признаков нарушения (попыток нарушения) государственной границы передача полученной информации в режиме реального времени в отделение (пограничную заставу) с привязкой к местности;

в перспективе, при наличии на борту БЛА тепловизионных и радиолокационных приборов разведки, а также необходимого программного обеспечения, возможность автономного ведения пограничного поиска с передачей полученных данных в режиме реального времени в отделение (пограничную заставу) и наземным группам, ведущим пограничный поиск;

возможность автономного возвращения в отделение (пограничную заставу) после выполнения задачи.

Так же, высокая автономность БЛА минимизирует появление ошибок пилотирования (человеческого фактора) и сбоев в работе систем дистанционного радиоуправления, распространенных при использовании дистанционно пилотируемых операторами БЛА.

Рассмотрим возможную тактику применения БЛА при использовании преимущественно оперативного способа охраны границы, в условиях лесисто-болотистой местности. После поступления оперативной информации (информации от технических средств охраны государственной границы) о совершенном или готовящемся нарушении границы, дежурный по отделению (пограничной заставе) задает район поиска в летную программу БЛА, при этом тревожная группа (разведывательно-поисковая группа) никуда не выдвигается. БЛА автономно взлетает и выдвигается в район поиска, используя заложенную в его программу управления трехмерную карту местности и с учетом полученных от метеорологических станций данных. Прибыв в заданный район, дрон автономно осуществляет поиск признаков нарушения (попыток нарушения) государственной границы. При отсутствии признаков нарушения (попыток нарушения) границы, БЛА автономно возвращается в отделение. В случае обнаружения признаков нарушения (попыток нарушения) границы, БЛА передает полученную информацию дежурному по отделению (пограничной заставе), который, в свою очередь докладывает должностному лицу, ответственному за высылку пограничных нарядов. Далее на участке отделения (пограничной заставы) организуется пограничный поиск.

Если БЛА имеет необходимые приборы разведки и программное обеспечение, при обнаружении признаков нарушения (попыток нарушения) границы, он осуществляет поиск нарушителей и передает полученные данные в отделение (пограничную заставу) и наземным группам, ведущим пограничный поиск. После завершения пограничного поиска БЛА автономно возвращается в отделение.

Таким образом, применение БЛА внесет существенные изменения в тактику действий отделений (пограничных застав) осуществляющих пограничную деятельность в условиях лесисто-болотистой местности, что позволит значительно повысить эффективность деятельности подразделений и снизить нагрузку на их сотрудников.

## Перспективы применения БЛА в качестве носителей ретрансляторов связи

Современный этап развития мирового авиастроения характеризуется бурным развитием беспилотной авиационной техники [1]. В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БЛА) эффективно используются при решении разнообразных как гражданских, так и военных задач (рисунок 1).

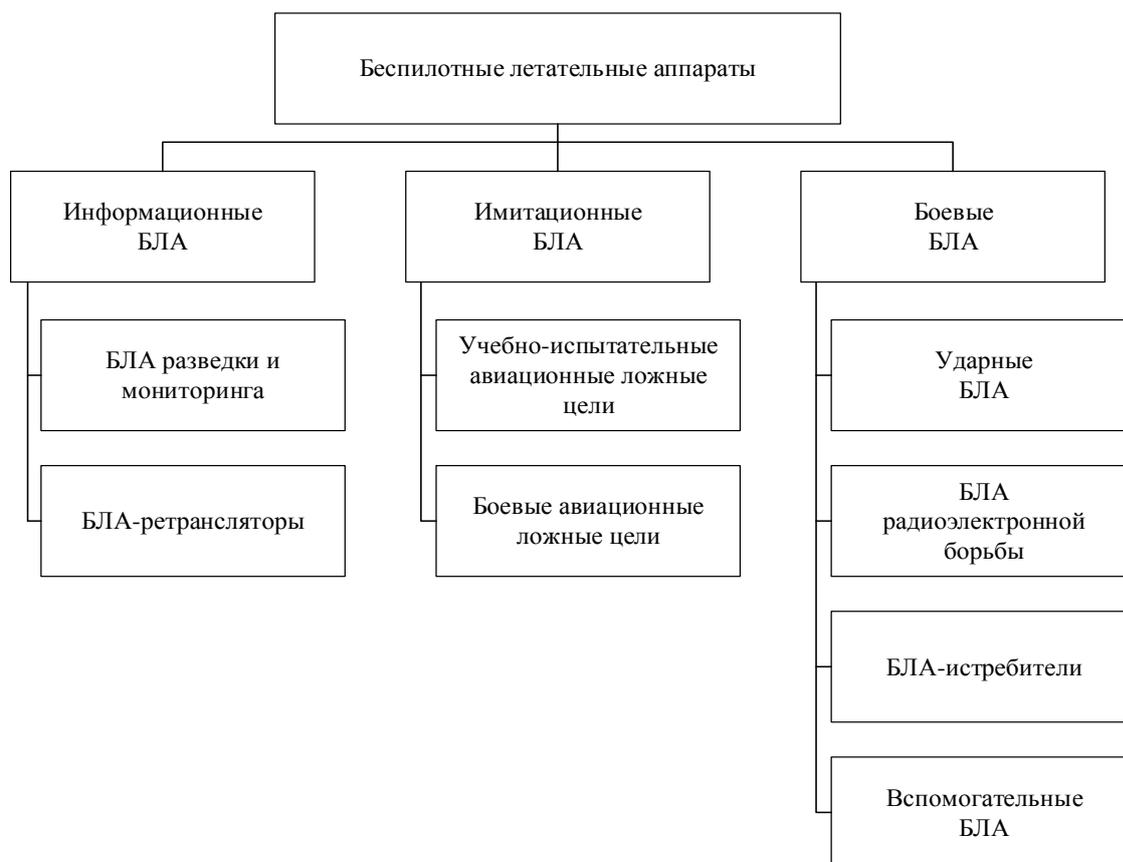


Рисунок 1 – Варианты применения БЛА при решении военных задач

Одним из направлений применения БЛА является их использование в качестве носителей ретрансляторов связи. Ряд научно-исследовательских работ [2-4], проведенных в Военной академии связи, показал, что применение ретрансляторов связи на БЛА позволит существенно снизить экономические затраты за счет увеличения пропускной способности и мобильности сети радиосвязи ТЗУ, образования дополнительных радионаправлений, обеспечивающих информационный обмен в неподготовленных в отношении связи районах. Проведенные испытания ретрансляторов связи на базе

радиостанций Р-187-П1 и Р-168МРА размещенных на беспилотном летательном аппарате «Орлан-10» подтвердили возможность ретрансляции цифровых сигналов через БЛА и существенное увеличение дальности связи.

Современные боевые действия имеют высокодинамичный характер, что приводит к тому, что большую часть времени (до 80 %) пункты управления находятся в движении. Характерной особенностью канала передачи при движении подвижных объектов (ПО) является наличие быстрых и медленных флуктуаций параметров сигналов [7]. Природа быстрых и медленных замираний различна и их влияние принято рассматривать отдельно.

Средства радиосвязи, входящие в состав сети радиосвязи тактического звена управления (ТЗУ) работают в диапазонах коротких волн, метровых волн и дециметровых волн. Увеличивающаяся информационная нагрузка, связанная с внедрением автоматизированных систем управления в низовое звено управления, приводит к необходимости передачи по сети радиосвязи большого объема разнородного трафика, что в свою очередь приводит к необходимости использования все более высоких областей диапазона частот. Особенностью распространения радиоволн дециметрового диапазона является существенная зависимость уровня радиосигнала в точке приема от рельефа местности. Данная зависимость определяет наличие медленных замираний в канале передачи при изменении местоположения подвижного объекта, которые фактически являются пространственными замираниями.

Установлено [8], что плотность распределения медленных замираний уровня сигнала подчиняется логарифмически-нормальному закону со стандартным отклонением, зависящим от рельефа местности (характера городской застройки). Логнормальный закон означает, что по нормальному закону распределена не случайная величина  $x$ , а ее логарифм с любым основанием.

Логарифмически-нормальный закон распределения имеет вид:

$$w(x) = \frac{1}{2\sigma_x \pi} \exp\left(-\frac{(x - \bar{X})^2}{2\sigma^2}\right),$$

где случайная величина  $x$ , ее среднее значение  $\bar{X}$  и дисперсия  $\sigma^2$  выражены в децибелах.

Указанные особенности приводят к тому, что при движении подвижных объектов и ретрансляторов связи на БЛА отношение сигнал/шум в точке приема в отдельные промежутки времени опускается ниже порогового значения, что приводит к потере передаваемой информации и определяет радиоканал «подвижный

объект (ПО) – ретранслятор связи на БЛА» как прерывистый канал связи.

Динамика функционирования прерывистого канала связи описывается последовательной сменой состояний: пригодного для передачи информации длительностью  $\tau_u$  и непригодного состояния длительностью  $\tau_n$  (рисунок 2).

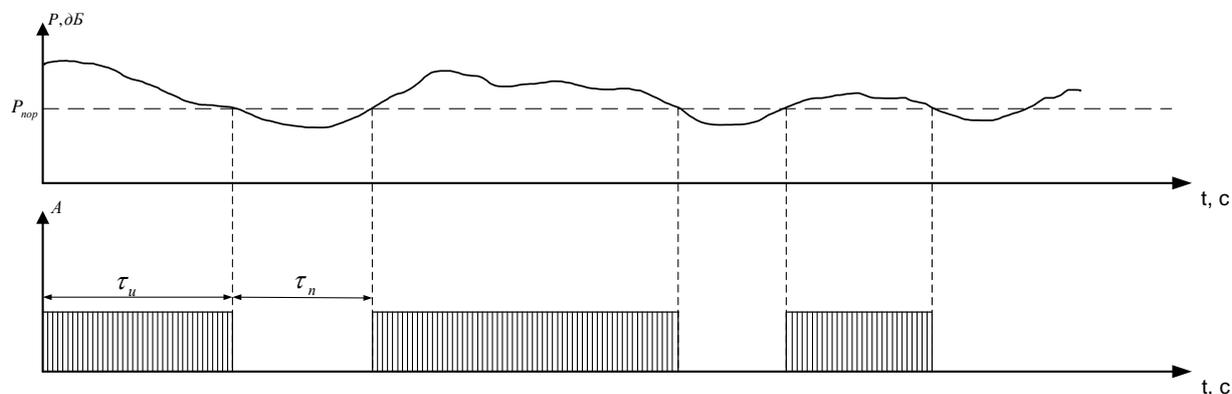


Рисунок 2 – Динамика функционирования прерывистого канала связи

Длительности  $\tau_u$  и  $\tau_n$  являются случайными величинами с одномерными плотностями вероятности  $\omega(\tau_u)$  и  $\omega(\tau_n)$ . В большинстве случаев [9] плотности вероятности  $\omega(\tau_u)$  и  $\omega(\tau_n)$  аппроксимируются экспоненциальными зависимостями вида:

$$\omega(\tau_u) = \frac{1}{\bar{\tau}_u} \exp\left(-\frac{\tau}{\bar{\tau}_u}\right);$$

$$\omega(\tau_n) = \frac{1}{\bar{\tau}_n} \exp\left(-\frac{\tau}{\bar{\tau}_n}\right).$$

Эффективным средством передачи информации по каналам с большими изменениями амплитуды сигнала является прерывистая связь. В системе прерывистой связи информация передается только в те интервалы времени, когда амплитуда сигнала достаточно велика для обеспечения надежного приема.

Если амплитуда сигнала падает ниже некоторого порогового значения, система с помощью команд, передаваемых по обратному каналу, переводится в режим ожидания и передача информации прекращается до тех пор, пока амплитуда вновь не превысит порогового значения. В период ожидания поступающая от источника сообщений информация накапливается в специальных накопительных устройствах, которые предположительно будут размещаться на ПО и бортах БЛА. В рабочие промежутки времени накопленная информация передается с высокой скоростью на приемный конец, где она также записывается в накопителе, а затем считывается и подается к получателю.

Благодаря большой мгновенной скорости передачи информации прерывистые системы связи могут обеспечить высокую среднюю скорость, достаточную для непрерывной обработки поступающих от источников сообщений.

Предложенный вариант изменения скорости передачи приемлем при передаче данных, передача которых не чувствительна ко времени задержки. Для передачи речевой информации предполагается использование многоуровневой модели (рисунок 3)

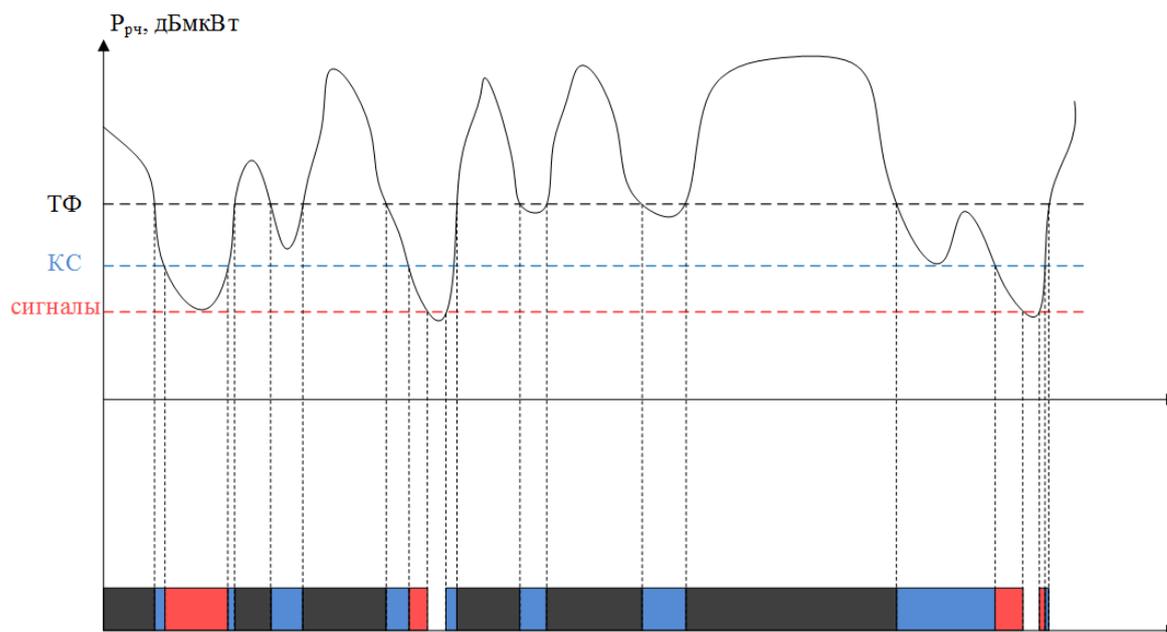


Рисунок 3 – Многоуровневая модель прерывистого канала связи

При снижении уровня входного сигнала ниже порогового значения 1 предполагается передача речевой информации в виде коротких фиксированных сообщений, а при снижении уровня сигнала ниже порогового значения 2 в виде формализованных сигналов. Таким образом, предполагается минимизировать потери речевой информации при передаче речевых сообщения в ходе движения подвижных объектов и обеспечить своевременность передачи сообщений.

Также одним из важных направлений развития использования БЛА является применение БЛА в составе автономно функционирующих, но согласовано управляемых групп [10]. Существуют проекты группового использования БЛА для решения задач связи. Например, проект SMAVNET посвящен созданию мини-БЛА, которые позволят оперативно развернуть беспроводную децентрализованную самоорганизующуюся (MANET) Wi-Fi сеть для подключения и координации спасательных групп на местности в зонах бедствий и труднодоступных зонах [11].

Исходя из вышесказанного, становится актуальным вопрос рассмотрения группы БЛА в качестве среды передачи в радиолиниях с пространственным мультиплексированием (рисунок 4).

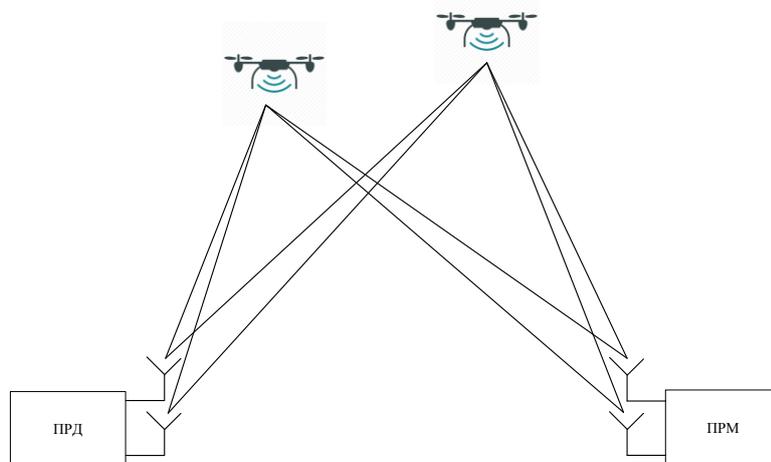


Рисунок 4 – Реализация ММО с использованием ретрансляторов связи на БЛА

Как отмечалось выше, в современных условиях боевых действий существует потребность в передаче по сети радиосвязи больших объемов разного вида информации. Для повышения пропускной способности в современных системах сотовой связи применяется технология пространственного мультиплексирования (англ. ММО - Multiple Input Multiple Output), которая подразумевает использование нескольких антенн на передающей стороне и нескольких антенн на приёмной стороне [12]. При этом работа происходит на одной рабочей частоте.

Данная технология использует эффект многолучевого распространения радиосигнала для увеличения емкости канала. Система с  $M$  передающими и  $N$  приемными антеннами способна обеспечить пиковую пропускную способность теоретически в  $M \times N$  раз большую, чем обычные системы. Это достигается за счет того, что передатчик разбивает входной поток данных на  $M$  независимых последовательностей бит и, используя массив антенн, при определенных условиях пересылает их одновременно. Такая техника называется пространственным мультиплексированием и позволяет значительно повысить пропускную способность и/или помехоустойчивость системы связи по сравнению с традиционной системой с одной передающей и одной приёмной антеннами.

Пропускная способность радиоканала системы связи ММО с комплексной канальной матрицей  $H$  определяется соотношением:

$$C = \log_2 \det(I + \frac{\rho}{M} HH^H).$$

где  $I$  – единичная матрица размерности  $N \times N$ ,  $\rho$  – отношение сигнал/шум для одной приемной антенны.

В предлагаемой в данной статье системе многолучевое распространение создается искусственно с использованием нескольких размещенных на БЛА ретрансляторов связи.

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Антенны на передающей и приемной стороне должны быть пространственно разнесены (поляризационно разделены) настолько, чтобы по возможности снизить взаимную корреляцию принимаемых радиосигналов для каждой пары передающих и приемных антенн. Вместе с этим для снижения взаимной корреляции стоит вопрос соответственного пространственного размещения БЛА.

2. В подавляющем большинстве работ по методам пространственно-временного кодирования в каналах ММО неизменным условием теоретического анализа является квазистационарность канала. Однако в предлагаемой системе перемещаются образующие пространственно-разнесенные каналы как подвижные объекты, так и БЛА. В связи с этим возникает вопрос расчета текущего значения коэффициентов передачи канальной матрицы.

Литература:

1. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. 444 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).

2. Отчет о НИР «Бортовик». Промежуточный, 1 этап. – СПб.: ВАС, 2012.

3. Отчет о НИР «Бортовик». Заключительный. – СПб.: ВАС, 2013.

4. Отчет о НИР «Воздух» – СПб.: ВАС, 2012.

5. Дмитриев В. И. Линии и сети связи через средневысотные ретрансляторы. Часть 1. – ВАС, 1993. – 324.

6. Маковеева М. М. Системы связи с подвижными объектами: учеб. пособие / М. М. Маковеева, Ю. С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.

7. Зюко А. Г. Теория передачи сигналов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк. – М.: Связь, 1980. – 288 с.

8. Ким Н. В. Групповое применение беспилотного летательного аппарата в задачах наблюдения / Н. В. Ким, И. Г. Крылов // Электронный журнал «Труды МАИ». 2012. №62. URL: <http://www.mai.ru/upload/iblock/bbb/grupповое-primeneniye-bespilotnogo->

letatel'nogo-apparata-v-zadachakh-nablyudeniya.pdf (Дата обращения: 01.02.2017).

9. Стая беспилотников под управлением Linux [Электронный ресурс] // URL: <http://uav.ru/news.php?cod=2509> (Дата обращения: 01.02.2017).

10. Бакулин, М. Г. Технология ММО : принципы и алгоритмы : монография / М. Г. Бакулин, Л. А. Варукина, В. В. Крейнделин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 244 с.

Пьянников А.А., главный конструктор, ООО «ОКБ УЗГА», г. Екатеринбург;

Извольский А.В., начальник отдела ПО, ООО «ОКБ УЗГА», г. Екатеринбург;

Баев Ф.В., начальник ОНР, ООО «ОКБ УЗГА», г. Екатеринбург

### **Вопросы формирования, распространения и использования ключевой информации в КБЛА**

*Аннотация:* В докладе рассматриваются методы защиты каналов передачи данных в аспекте защищенности при компрометации ключевой информации.

*Ключевые слова:* БЛА, шифрование, ретранслятор, ключ.

В настоящее время в комплексах с беспилотными летательными аппаратами (далее БЛА), как правило, используется способ управления «точка-точка» между наземной станцией управления (далее НСУ) и БЛА. Некоторые комплексы допускают возможность передачи управления БЛА с одной НСУ на другую во время полёта БЛА. Существует потенциальная возможность управления БЛА посредством ретрансляции данных через специализированный БЛА.

Управление БЛА осуществляется путем передачи командной информации по радиоканалу и приема телеметрической информации по радиоканалу. С целью обеспечения конфиденциальности, передаваемой с борта БЛА информации и обеспечения безопасности управления БЛА от угрозы постороннего вмешательства следует защищать каналы передачи данных через радиоканал.

Учитывая тот факт, что используются ранее упомянутые способы использования БЛА («точка-точка», с передачей между НСУ) и вариант с использованием функции ретрансляции через БЛА, а также учитывая тот факт, что требуется использовать криптографические средства для защиты передаваемых данных, необходимо обеспечить возможность работы с ключевой информацией в различных конфигурациях, обеспечивая безопасность передаваемой информации при неблагоприятных условиях, формируемых вероятным противником.

Необходимо обеспечить решение следующих вопросов:

1. Возможность обеспечения связи точка-точка в конфигурации НСУ-ретранслятор и ретранслятор-целевой БЛА.

2. Возможность обеспечения связи в сети из 3-х абонентов: НСУ- ретранслятор-целевой БЛА;

3. Возможность обеспечения оперативного переключения между абонентами:

— передача управления ретранслятором от одной НСУ к другой;

— поочередное управление несколькими ретрансляторами с одной

НСУ;

— переключение ретрансляции между несколькими целевыми БЛА;

— поочередное управление целевым БЛА с нескольких ретрансляторов.

4. Обеспечение безопасности информации, ранее переданной или передаваемой в настоящем и будущем с борта на землю при компрометации одного из узлов сети.

5. Обеспечение безопасности управления БЛА при компрометации одного из узлов сети.

Защита информации, передаваемой по каналам связи, может осуществляться путем кодирования, в том числе с использованием алгоритмов шифрования с секретным ключом. Алгоритмы шифрования могут использовать симметричный либо ассиметричный набор ключей. Применительно к БЛА возможны следующие варианты защиты с использованием алгоритмов шифрования:

1. Наиболее логически простой из вариантов – это использование на всех БЛА (целевых, ретрансляторах) и НСУ одного набора симметричных ключей. Это даст возможность обеспечения связи между НСУ, БЛА, ретрансляторами в любых конфигурациях. Однако, при захвате БЛА компрометации ключевой информации вся разведывательная информация и канал управления для всех оставшихся в воздухе БЛА становятся уязвимы. Модель уязвимостей относительно каналов обмена данными во временном разрезе при реализации угрозы представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Модель уязвимостей при реализации угрозы компрометации носителя единственного набора симметричных ключей

	<b>Ранее записанный обмен данными</b>	<b>Информационный поток после захвата носителя ключей</b>
От скомпрометированного узла	Весь записанный трафик <i>между всеми узлами</i> может быть расшифрован	Возможно дальнейшее вмешательство в управление <i>любым БЛА</i>
К скомпрометированному узлу	Весь записанный трафик <i>между всеми узлами</i> может быть расшифрован	Возможен дальнейший перехват и расшифровка информации, передаваемой с <i>любого узла</i> <i>любому абоненту</i> сети

2. Ещё один вариант – для каждого сегмента точка-точка между двумя любыми узлами используется свой уникальный симметричный ключ шифрования; Это приведет к тому, что при необходимости

оперативного переключения между абонентами в конфигурации из нескольких НСУ, нескольких ретрансляторов, и нескольких целевых БЛА необходимо будет иметь на каждом из узлов определенный набор ключей, обеспечивающий возможность образования сегмента сети. На каждом целевом БЛА нужен набор ключей для связи со всеми ретрансляторами и со всеми НСУ. На каждом ретрансляторе нужен набор ключей для связи со всеми целевыми БЛА и со всеми НСУ. На каждой НСУ нужен набор ключей для связи со всеми БЛА как ретрансляторами, так и целевыми. Модель уязвимостей относительно каналов обмена данными во временном разрезе при реализации угрозы представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Модель уязвимостей при реализации угрозы компрометации носителя одного из наборов симметричных ключей

	Ранее записанный обмен данными	Информационный поток после захвата носителя ключей
От скомпрометированного узла	Весь записанный трафик к захваченному узлу от любого абонента может быть расшифрован	Возможно дальнейшее вмешательство в управление любым БЛА
К скомпрометированному узлу	Весь записанный трафик от захваченного узла к любому абоненту может быть расшифрован	Возможен дальнейший перехват и расшифровка информации, передаваемой с любого узла только в адрес захваченного

3. Возможен вариант шифрования данных в канале связи при помощи пар ассиметричных ключей. В этом случае для каждого узла сети генерируется пара: открытый и закрытый ключ. Открытые ключи от всех узлов хранятся в массиве на всех узлах, позволяя любому из узлов передавать информацию на любой другой узел в зашифрованном виде. Закрытые ключи располагаются в одном экземпляре исключительно в крипто-приемниках на соответствующих узлах. В случае захвата одного узла у нарушителя появляется доступ ко всем открытым ключам сети, т.е. появляется возможность отправки команд на любой узел. Так же у нарушителя появляется доступ к одному закрытому ключу захваченного узла. Модель уязвимостей относительно каналов обмена данными во временном разрезе при реализации угрозы представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Модель уязвимостей при реализации угрозы компрометации носителя набора открытых асимметричных ключей и одного закрытого ключа носителя

	Ранее записанный обмен данными	Информационный поток после захвата носителя ключей
От скомпрометированного узла	Не может быть расшифрован	Возможно дальнейшее вмешательство в управление любым БЛА
К скомпрометированному узлу	Весь записанный трафик к захваченному узлу от любого абонента может быть расшифрован	Возможен дальнейший перехват и расшифровка информации, передаваемой с любого узла только в адрес захваченного

Во всех рассмотренных вариантах с помощью захваченных ключей может быть реализован риск вмешательства в управление оставшихся БЛА, а также перехвата передаваемой с борта БЛА информации. Квитирование данных рисков возможно методами смены рабочего комплекта ключей, использования имитозащиты.

В дополнение к традиционным алгоритмам шифрования данных предлагается рассмотреть подход, основанный на использовании одноразовых шифроблокнотов с обратимым симметричным преобразованием кодируемой информации. Метод основан на применении логической операции XOR (исключающее ИЛИ) к массиву ключевой информации из одноразового шифроблокнота и к пакету полезных данных, передаваемых в линию связи. Метод использования данного подхода можно разделить на этапы:

1. Во время предполетной подготовки при помощи генератора случайных чисел генерируется последовательность случайных данных, из которых формируется массив ключевой информации, привязанной к допустимому времени использования. Т.е. каждая часть массива предназначена для использования в определенный промежуток времени и подлежит безвозвратному автоматическому стиранию по завершению времени актуальности данных.

2. Подготовленная ключевая информация загружается во все узлы сети (БЛА, ретрансляторы, НСУ).

3. Все узлы сети производят синхронизацию внутренних часов по спутниковой навигационной системой ГЛОНАСС. Запускаются встроенные алгоритмы стирания устаревшей ключевой информации.

4. Защищенный обмен полезной информацией осуществляется путем обмена сообщениями, прошедшими процедуру XOR.

5. Приемные устройства производят декодирование принятых сообщений методом XOR при помощи известного набора ключей из одноразового шифроблокнота.

Модель уязвимостей относительно каналов обмена данными во временном разрезе при реализации угрозы захвата одного носителя ключей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Модель уязвимостей при реализации угрозы компрометации носителя одноразовых шифроблокнотов

	Ранее записанный обмен данными	Информационный поток после захвата носителя ключей
От скомпрометированного узла	Не может быть расшифрован	Возможно дальнейшее вмешательство в управление любым БЛА
К скомпрометированному узлу	Не может быть расшифрован	Возможен дальнейший перехват и расшифровка информации, передаваемой с любого узла любому абоненту сети

Учитывая ранее приведенные методы квитирования угроз информационной безопасности, которые могут быть реализованы после получения вероятным противником ключевой информации с захваченного узла сети, можно сделать вывод о том, что метод закрытия информации с использованием одноразовых шифроблокнотов предоставляет максимальный среди рассмотренных уровень защиты конфиденциальности для данных, которые были перехвачены и записаны до момента компрометации ключей.

Преимущества и недостатки метода шифроблокнотов можно перечислить следующим образом.

Преимущества:

- одинаковые ключи загружаются везде, не требуется переключение на другой набор ключей при передаче управления между НСУ, БЛА и ретрансляторами;

- обеспечивается защита ранее перехваченного информационного обмена, т.к. использованные ключи безвозвратно стираются в режиме реального времени;

- простая техническая реализация и высокая скорость работы алгоритма гаммирования.

Недостатки:

- большой объем хранящейся ключевой информации

- необходимость временной синхронизации всех абонентов сети

- как и в других рассмотренных методах шифрования требуется проведение дополнительных мероприятий по смене набора ключей при компрометации узла;

— данный метод не сертифицирован в РФ для обработки защищаемой информации.

#### Выводы

1. Потеря БЛА в неконтролируемой зоне является достаточно вероятным событием при типовых способах применения. Потеря БЛА приводит к компрометации ключевой информации, хранящейся в нем.

2. Существующие методы защиты информации, основанные на шифровании с использованием симметричных или ассиметричных алгоритмов, не обеспечивают конфиденциальности, ранее перехваченной вероятным противником, информации в случае компрометации ключевой информации.

3. Получение доступа к носителю ключей открывает для вероятного противника потенциальную возможность перехвата данных и перехвата управления БЛА. Эту угрозу нужно квитирировать дополнительными мерами.

4. Существует вариант кодирования информации с использованием одноразовых шифроблокнотов, загруженных на все криптоустройства сети, при помощи которых возможно обеспечить конфиденциальность ранее перехваченной информации даже при физическом завладении носителем ключевой информации.

Ромашов В.А., к.т.н., доцент, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники;

Шайдулин З.Ф., к.т.н., доцент, Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники;

Бердюгин С.Ю., Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники

### **Координатометрия источников радиоизлучений на базе беспилотных летательных аппаратов**

Анализ ряда публикаций [1, 2], посвященных современному состоянию и тенденциям развития Сухопутных войск (СВ) Вооруженных сил (ВС) США, показал, что в настоящее время осуществляется оснащение дивизий и боевых бригад новыми средствами связи и особенно автоматизированными системами управления для повышения боевых возможностей и оперативности их применения. Создаются «модульные» соединения, обладающие высокой степенью боевой готовности, на вооружении которых находится современная боевая техника, средства управления и связи.

В настоящее время информационно-телекоммуникационную основу автоматизированных систем управления (АСУ) оперативно-тактического звена СВ ВС США составляет система боевого управления ABCS (Army Battle Combat System). Она предназначена для обмена информацией о складывающейся обстановке и формирования единой картины «поля (пространства) боя» у всех должностных лиц – от командира взвода до командующего группировкой СВ на ТВД. Вместе с тем данная система состоит из большого количества разнородных узкоспециализированных АСУ, что существенно затрудняет их оперативную и техническую совместимость. Для устранения этого недостатка в ВС США ведутся работы по созданию новой архитектуры АСУ СВ ВС США оперативно-тактического звена управления (ОТЗУ) и тактического звена управления (ТЗУ) путем сокращения количества узкоспециализированных АСУ и постепенному переходу к единой информационно-управляющей сети, построенной на основе унифицированных и стандартизированных аппаратно-программных средствах, обеспечивающих пользователям всех уровней доступ к ресурсам.

Для организации боевого управления в системе ABCS на уровне бригада и ниже развертывается система командной радиосвязи на основе цифровых радиостанций серии SINCGARS, работающих в ОБЧ-диапазоне (30–88 МГц), устанавливаемых на транспортной базе, носимых, имеющихся на вооружении у командиров батальонов, рот, взводов, их заместителей, командиров отделений и огневых групп. Они

обеспечивают закрытую помехозащищенную цифровую телефонную связь и передачу данных, используются как средства ближней и дальней радиосвязи, могут работать как в оконечном режиме, так и в режиме ретрансляции радиосигнала.

Основу системы связи, обеспечивающей организацию взаимодействия элементов АСУ СВ США ОТЗУ и ТЗУ, составляет информационно-коммуникационная сеть «Тактический интернет», которая, в свою очередь, является элементом глобальной информационной сети GIG. В организационно-техническом плане сеть «Тактический интернет» разделена на нижний, батальон и ниже, и верхний уровни, бригада, дивизия и выше.

Полномасштабное развертывание современной системы связи WIN-T СВ ВС США позволит создать защищенную от современных средств радиоэлектронной разведки и радиоэлектронной борьбы противника систему связи, которая обеспечит устойчивое, непрерывное, скрытное и оперативное управление войсками в оперативном и тактическом звеньях управления.

Реализация в СВ ВС США программы JTRS позволяет создать на поле боя единую распределенную помехозащищенную широкодиапазонную адаптивную к условиям распространения радиоволн информационно-коммуникационную радиосистему, состоящую из однотипных радиоэлектронных средств (РЭС) обладающих низкой степенью видовой, родовой и поэкземплярной различимости.

В таблице 1 представлены основные типы радиостанций программы JTRS.

Таблица 1

Основные группы радиостанций	Назначение и варианты радиостанций	Основные характеристики			
		Кол-во каналов	ДРЧ, МГц	Скорость передачи в одном канале, кбит/с	Выходная мощность Вт
JTRS GMR (Ground Mobile Radio)	Возимая, многоканальная. Для боевых машин, автомобилей, мобильных пунктов управления СВ и МП	6(8)	2–2500	64	До 50 (с внешним усилителем)
JTRS AMF (Airborne/ Maritime/ Fixed station)	Для надводных кораблей и подводных лодок		2–2500	2048	До 200 (с внешним усилителем)
	Для самолетов всех типов				
	Для наземных стационарных объектов всех видов ВС				

JTRS HMS (Hand-held/ Manpack/ Small form fit)	Портативная. Для подразделений ССО, МП и СВ	1–3	30–512	9,6	0,1;0,5;1;2;5
	Носимая. Для подразделений ССО, МП и СВ	2(4)		64	До 20
	Малогабаритная. Для дистанционно управляемых машин, боевого комплекса пехотинца	2	30–450	64	До 20
	Малогабаритная. Для автономных разведывательных датчиков	1–3		9,6	0,1–5
JTRS JEM (MBITR)	Портативная. Для СВ, ВМС, МП и авиации ССО		30–450		

Руководство СВ ВС США целенаправленно и последовательно осуществляет комплекс организационных и технических мероприятий по созданию единого информационного пространства как информационно-телекоммуникационной основы для достижения победы в войнах и вооруженных конфликтах над любым противником в любом регионе земного шара.

Реализация программы WIN-T, основывающейся на средствах связи программы JTRS, создаст защищенную от современных средств РЭР и радиоэлектронной борьбы систему связи от пунктов управления до отдельных огневых групп.

Реализация данных программ скажутся на общей радиоэлектронной обстановке (РЭО), в частности ЭМД ИРИ снизится, исчезнут радиосети и радионаправления, утратят актуальность индивидуальные разведывательные признаки РЭС, уменьшатся возможности существующих методов радиомониторинга.

Все приведенные мероприятия резко усложняют РЭО, что в свою очередь повышает требования к средствам мониторинга.

Особое место среди способов добывания данных о противнике занимают комплексы местоопределения, позволяющие решать задачи вскрытия состояния, намерений и целеуказания по структурно-статическим признакам в условиях семантической недоступности.

Кроме того, энергетическая недоступность части источников в силу их технических характеристик и территориальной распределенности вызывает необходимость применения БЛА для решения разведывательных задач, в том числе и для определения координат.

Исходя из особенностей применения БЛА для мониторинга источников необходимо определить способ определения координат местоположения ИРИ.

Применение на ТВД широкодиапазонных адаптированных к условиям распространения средств связи, формирующих единую информационно-коммуникационную радиосистему, состоящую из однотипных РЭС приводит к снижению ЭМД ИРИ. Снижение ЭМД в первую очередь связано с ограничением высот, используемых АФС.

В общем виде оценку доступности РЭС можно произвести по формуле:

$$\ell = \sqrt{h_1 + h_2} \times 4,12, \quad (1)$$

где  $\ell$  – расстояние между РЭС и средствами РЭР в км;  $h_1$  – высота передающей антенны в метрах;  $h_2$  – высота приемной антенны в метрах.

Из оценки данной формулы видно, что для увеличения дальности ЭМД ИРИ необходимо решить задачу использования достаточно высокой АФС.

Одним из способов решения данной задачи является применение комплексов МО, размещенных на БЛА.

К основным способам определения местоположения ИРИ относятся: угломерный, дальномерный, разностно-дальномерный и суммарно-дальномерный, а также их комбинации, например, угломерно-дальномерный, угломерно-разностно-дальномерный и т.п.

В основу всех способов измерения координат радиотехническими методами положено свойство радиоволн распространяться в однородной среде прямолинейно и с постоянной скоростью, приблизительно равной  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с.

В системах местоопределения (МО) при нахождении положения источников радиоизлучений (ИРИ) используют понятия параметра, поверхности и линии положения.

Обычно системы местоопределения классифицируются по типу используемого параметра положения.

В соответствии с этим, различают основные методы местоопределения ИРИ: угломерный, дальномерный, разностно-дальномерный и суммарно-дальномерный, а также их комбинации, например, угломерно-дальномерный, угломерно-разностно-дальномерный и т.п.

В настоящее время наиболее перспективным направлением развития программно-аппаратных комплексов является унификация и комплексирование подсистем радиомониторинга (активного и пассивного) с подсистемами определения местоположения источников радиоизлучений (ИРИ).

Дальномерный способ МО, а также его комбинации с другими способами МО, требуют непосредственного измерения дальности до ИРИ. Такие измерения возможны только при непосредственной

реализации функции ответа на сигнал запросчика и поддержания высокоточной синхронизации (как, например, в сетях сотовой связи при вхождении в синхронизм абонентских терминалов с базовой станцией). Это свидетельствует о неприменимости в общем случае дальномерного способа при местоопределении ИРИ произвольных систем связи.

При определении пеленга на ИРИ (в угломерном методе) достаточно выполнить свертку сигналов, принимаемых отдельными антенными элементами пеленгаторной решетки, и рассчитать по разностям их фаз направление прихода радиоволны. Несомненным достоинством угломерных систем МО является то, что при пеленговании ИРИ каждый из периферийных постов наблюдения не требует точной синхронизации по времени с другими постами. Еще одним достоинством подобных систем является возможность нахождения направления на ИРИ без предварительного вычисления его точных координат. Основные недостатки данных систем связаны с соответствующими недостатками радиопеленгаторов, а именно:

- зависимость ошибки вычисления координат ИРИ от взаимного расположения пеленгаторов и ИРИ в пределах зоны охвата системы (чем дальше ИРИ, тем выше величина отклонения пеленга от истинного положения ИРИ);

- для повышения точности пеленгования, как правило, требуется увеличивать размеры пеленгаторных антенн;

- всегда требуется точная привязка ориентации антенны к системе координат, в которой осуществляется определение местоположения.

Вследствие наличия перечисленных недостатков реализация данного способа МО требует больших затрат.

Разностно-дальномерные системы на базе пассивных средств реализуются в виде систем разнесенных в пространстве ретрансляторов сигналов. Здесь линия положения представляет собой гиперболу, построенную через измеренную разность расстояний до ИРИ. При измерении разностей расстояний до приемных пунктов выполняется свертка сигналов, ретранслируемых в единый центр обработки с периферийных пунктов, и рассчитываются взаимные задержки, соответствующие максимуму взаимокорреляционной функции этих сигналов.

Достоинством таких систем МО является простота аппаратной реализации периферийных измерительных пунктов, состоящих из одноканальных радиоприемных устройств с ненаправленными антеннами и радиорелейной станции для ретрансляции принятых сигналов ИРИ, подлежащих местоопределению, что достаточно просто реализуется на БЛА. Другим преимуществом разностно-дальномерных

систем является отсутствие необходимости выполнять демодуляцию сигналов, как это делается в том или ином виде при реализации других способов МО.

Точность МО в разностно-дальномерных системах зависит от параметров сигнала, применяемого в системе связи. Так, СКО измерения дальности (разности или суммы расстояний) может быть оценена из общей формулы расчета времени приема сигнала:

$$\sigma_{\tau}^2 \approx \frac{A}{\Delta F^2 (2 \cdot E/N)}, \quad (2)$$

где  $A$  – параметр, зависящий от формы сигнала;  $\Delta F$  – ширина спектра сигнала;  $2 \cdot E/N$  – отношение энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума.

Предварительные оценки достижимой точности измерения разности расстояний свидетельствуют о возможности получения СКО на уровне десятков метров.

Таким образом, суммируя все достоинства разностно-дальномерного метода, можно сделать вывод о его предпочтительности перед другими методами при решении задач МО ИРИ, в том числе при использовании БЛА.

Оценка точности определения координат ИРИ может быть получена за счет определения параметров эллипса рассеяния ошибок, который характеризуется размерами его малой и большой полуосей, а также их наклоном. Для построения эллипса рассеяния с центром в  $\mathbf{X}=(x, y)$  сначала рассчитываются элементы матрицы точности местоопределения [3].

Для разностно-дальномерной системы местоопределения элементы матрицы точности вычисляются через матричное произведение [4]:

$$\Phi = \frac{1}{\sigma_R^2} \cdot \left[ \frac{(\mathbf{X} - \mathbf{X}_{pi})}{R(\mathbf{X}, \mathbf{X}_{pi})} - \frac{\mathbf{X}}{R(\mathbf{X}, \mathbf{X}_{p0})} \right] \cdot \Sigma^{-1} \cdot \left[ \frac{(\mathbf{X} - \mathbf{X}_{pi})}{R(\mathbf{X}, \mathbf{X}_{pi})} - \frac{\mathbf{X}}{R(\mathbf{X}, \mathbf{X}_{p0})} \right]^T, \quad (3)$$

где  $\mathbf{X}_{pi} = (x_{pi}, y_{pi})$ ,  $i = \overline{2, N_p}$  – матрица-строка координат измерительных пунктов РДС;  $N_p$  – общее количество позиций измерительных пунктов РДС;  $\mathbf{X}_{p0} = (x_{p0}, y_{p0})$  – координаты центрального измерительного пункта;  $R(\mathbf{X}, \mathbf{X}_{pi}) = \sqrt{(x - x_{pi})^2 + (y - y_{pi})^2}$  – евклидово расстояние между точками  $\mathbf{X}=(x, y)$  и  $\mathbf{X}_{pi}=(x_{pi}, y_{pi})$  на плоскости;  $\sigma_R$  – среднеквадратичная ошибка (СКО) оценивания разности расстояний до ИРИ, метров;  $\Sigma$  – ковариационная матрица ошибок измерения.

Литература:

1. Панов А. Организация управления и связи в боевых бригадах Сухопутных войск США // Зарубежное военное обозрение. – 2011. - №6. – С. 33-44.
2. Панов А. Организация управления и связи в боевых бригадах Сухопутных войск США // Зарубежное военное обозрение. – 2011. - №7. – С. 31-35.
3. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы / Под ред. проф. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
4. Полевой В.А. Основы математической обработки результатов радиогеодезических измерений. – М.: Изд. геодезической литературы, 1961.

Свищо В.С., к.т.н., доцент, полковник, начальник 41 кафедры, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Аккубеков П.А., рядовой, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж);

Зубков С.Д., рядовой, ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

### **Создание трехмерной модели в интересах применения робототехнических комплексов военного назначения**

В данной статье рассматривается создание 3D моделей по результатам воздушной разведки с помощью беспилотных летательных аппаратов. Построение 3D моделей предлагается осуществлять в программе Agisoft PhotoScan. Рассмотрены вопросы использования трех мерного моделирования для получения дополнительных дешифровочных признаков.

Ключевые слова: *беспилотные летательные аппараты, 3D модель, воздушная разведки, дешифрование, ортофотоплан, карта высот, Agisoft PhotoScan.*

**Актуальность работы.** Использование трехмерного моделирования по результатам воздушной разведки с помощью беспилотных летательных аппаратов необходимо для получения наглядного представления обо всех объектах противника и расположении его военной техники или войск в трехмерной системе координат. 3D моделирование позволяет правильно спроектировать поведение робототехнического комплекса с учетом высоты, размеров объекта и его координат. Также использование трехмерных моделей позволяет выбрать ракурс полета ракеты к цели в случае ее расположения за объемными укрытиями (зданиями). С помощью 3D модели можно детально рассмотреть под любым ракурсом, с любых точек отснятую местность. Кроме того, готовая 3D модель, позволяет задать систему координат и установить масштаб, а также произвести измерения объема и площади поверхностей.

Использование трехмерной модели местности обеспечит тактическое превосходство над противником и дальнейшего планирования операции и принятия правильных решений.

Принцип строительства трехмерной модели в программе Agisoft PhotoScan заключается в следующем:

Первым этапом является получение аэрофотоснимков с помощью беспилотного летательного аппарата. Беспилотный летательный аппарат, пролетая над необходимой для разведки территории, получает аэрофотоснимки. Полученные снимки загружаются в программу и фильтруются путем удаления лишних фотографий. Необходимо, чтобы

количество "слепых зон" было сведено к минимуму, так как PhotoScan может реконструировать только те точки сцены, которые видны не менее чем на двух кадрах. В случае аэрофото, перекрытие кадров может быть выражено в следующих цифрах: 60% поперечное перекрытие + 80% продольное перекрытие. Необходимо эффективно использовать пространство кадра: снимаемый объект должен занимать наибольшую часть кадра. Благодаря фильтрации снимков уменьшается время обработки материала и время строительства модели.

Вторым этапом является выравнивание фотографий и калибровка камеры. Эта операция необходима для того, чтобы успешно произвести расчеты для фотографий. Как только фотографии загружены в программу, PhotoScan автоматически делит их на группы калибровки в соответствии с разрешением изображения и метаданными EXIF, такими как тип камеры и фокусное расстояние. При расчете поля зрения для каждой фотографии, PhotoScan использует информацию, сохраненную в EXIF данных. Наличие EXIF данных является залогом получения наиболее правильной и адекватной 3D модели. Однако, можно произвести восстановление трехмерной модели и без этих данных: PhotoScan попытается совместить кадры в соответствии с предположением, что фокусное расстояние для всех снимков эквивалентно 50 мм (в эквиваленте 35 мм пленки). Однако, если действительное фокусное расстояние значительно отличается от 50 мм, это может привести к ошибке выравнивания фотографий и к ошибочному результату – в таких случаях необходимо задать начальную калибровку камеры вручную. Таким образом, если фотографии не содержат метаданных EXIF, то предпочтительнее указать фокусное расстояние (мм) и размер пикселя сенсора (мм) вручную. Как правило, эти данные указаны в паспорте камеры или могут быть получены из интернет-источников.

Третьим этапом осуществляется расстановка маркеров (опорных точек). Этот процесс необходим для того, чтобы увеличить качество 3D модели. Опорные точки необходимы для оптимизации выравнивания фотографий, измерения расстояний и объемов. Положение опорных точек определяется через их проекции на исходных фотографиях. Для определения положения маркеров в трехмерном пространстве необходимо указать их положение как минимум на двух фотографиях. Чем большее число фотографий используется для указания проекций маркера, тем выше точность позиционирования.

PhotoScan поддерживает два режима размещения маркеров: размещение в ручном режиме и автоматическое размещение. В ручном режиме проекции маркеров необходимо определять вручную на каждом изображении, где виден маркер. В автоматическом режиме проекция маркера задается пользователем только на одном

изображении. PhotoScan автоматически проецирует соответствующий луч на поверхность модели и рассчитывает проекции маркера на оставшихся фотографиях. Автоматический режим расстановки маркеров обычно ускоряет процесс определения положения маркеров и уменьшает вероятность ошибки. Этот режим рекомендуется использовать в большинстве случаев, если нет особых причин отказаться от такого подхода.

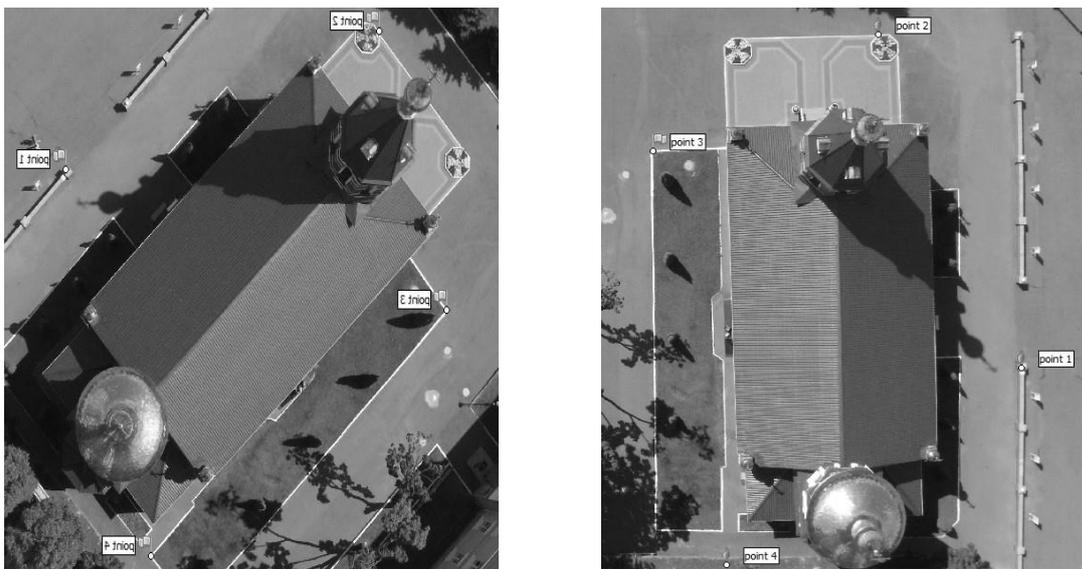


Рисунок 1 – Расстановка маркеров (опорных точек) на фотографиях:  
а) размещение в ручном режиме б) размещение в автоматическом режиме

Четвертый этап заключается в построении разреженного облака точек на основании импортированных данных о камере. На этом этапе производится поиск характерных точек и выявление соответствий с последующим построением разреженного облака точек, которое представляет собой трехмерную репрезентацию данных о связующих точках.



Рисунок 2 – Построение разреженного облака точек

Пятый этап: строительство плотного облака точек. PhotoScan позволяет создавать и отображать плотное облако точек: основываясь на рассчитанных положениях камер, программа вычисляет карты глубины для каждой камеры и на их основе строит плотное облако точек. При построении на данном этапе необходимо правильно подобрать параметры реконструкции для построения более точной 3D модели. Существуют несколько параметров реконструкции:

1. **качество** – устанавливает требуемое качество реконструкции. Более высокие настройки могут использоваться для получения более детальной и точной геометрии, однако требуют при этом больших ресурсов и более длительного времени на обработку. Так, при выборе значения параметра, производится обработка исходных изображений, а при снижении параметра на одну ступень, размер фотографии уменьшается в 4 раза (в 2 раза по каждой стороне);

2. **режимы фильтрации карт глубины** – на стадии построения плотного облака точек, PhotoScan рассчитывает карты глубины для каждого изображения. В случае, если текстура некоторых элементов сцены плохо выражена или изображение нечетко сфокусировано, а также вследствие цифрового шума, некоторые точки могут быть неправильно позиционированы. Для фильтрации выбросов PhotoScan имеет несколько встроенных алгоритмов, которые могут применяться в зависимости от задач конкретного проекта;

3. **режим «мягкая»** – при сложной, с многочисленными мелкими деталями на переднем плане, геометрии реконструируемой сцены, рекомендуется выбрать для параметра фильтрация карт глубины значение «мягкая» - в этом случае важные элементы сцены не будут исключены из построения;

4. режим «агрессивная» – при реконструкции области без значимых мелких деталей, рекомендован к применению «агрессивная» фильтрация карт глубины, чтобы исключить максимальное число ошибочно позиционированных точек.

5. режим «умеренная» – при использовании режима фильтрации карт глубины режима «умеренная», параметры фильтрации устанавливаются на уровне среднем между режимами «мягкая» и «агрессивная».

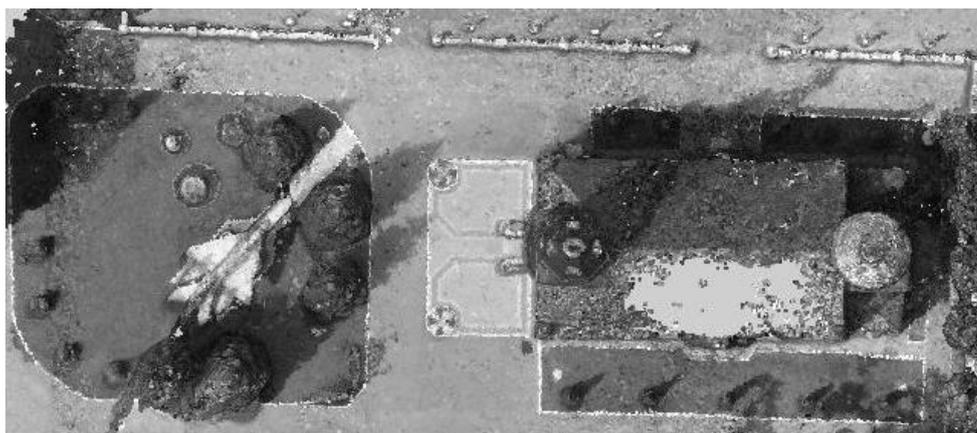


Рисунок 3 – Построение плотного облака точек

Шестой этап построение трехмерной полигональной модели. Модель формируется триангуляцией по точкам и упрощением полученной поверхности таким образом, чтобы сохранялась максимальная детализация при минимально необходимом количестве граней (полигонов) модели.

PhotoScan поддерживает несколько методов восстановления трехмерной полигональной модели и предоставляет ряд настроек, позволяющих выполнить оптимальную реконструкцию для конкретного набора фотографий. При этом существуют следующие типы надстроек:

1. **тип поверхности** – произвольный тип поверхности может быть использован для моделирования объектов любого вида. Этот тип следует выбирать для реконструкции замкнутых поверхностей, таких как статуи, здания и т. д. Методы, определяемые типом поверхности Карта высот, оптимизированы для моделирования плоских поверхностей, таких как ландшафт или барельефы. Этот тип объекта следует выбирать при обработке результатов аэрофотосъемки, поскольку соответствующие методы требуют меньшего количества ресурсов памяти, и, следовательно, позволяют обрабатывать большее число изображений.

2. **тип исходные данные** – данный параметр определяет

источник данных для построения трехмерной полигональной модели. Значение параметра Разреженное облако может быть использовано для быстрого создания полигональной модели на основании только разреженного облака точек.

**3. тип количество полигонов** – устанавливает максимальное число полигонов в итоговой трехмерной полигональной модели. Предложенные значения для параметра (Высокое, Среднее, Низкое) рассчитаны на основании числа точек в предварительно созданном плотном облаке: отношение равно  $1/5$ ,  $1/15$ , и  $1/45$  соответственно. Эти значения отражают оптимальное количество полигонов для модели соответствующей детализации.

**4. тип интерполяция** – режим интерполяции Отключена подразумевает точную реконструкцию, так как только области, заданные в плотном облаке точек, будут восстановлены. Обычно этот режим требует заполнения отверстий вручную на стадии постобработки. При выбранном режиме интерполяции Включена (по умолчанию), PhotoScan интерполирует информацию о каждой точке плотного облака на поверхность круга определенного радиуса. Таким образом некоторые отверстия могут быть заполнены автоматически. В режиме интерполяции Экстраполированная PhotoScan создает полигональную модель без отверстий с экстраполированной геометрией.

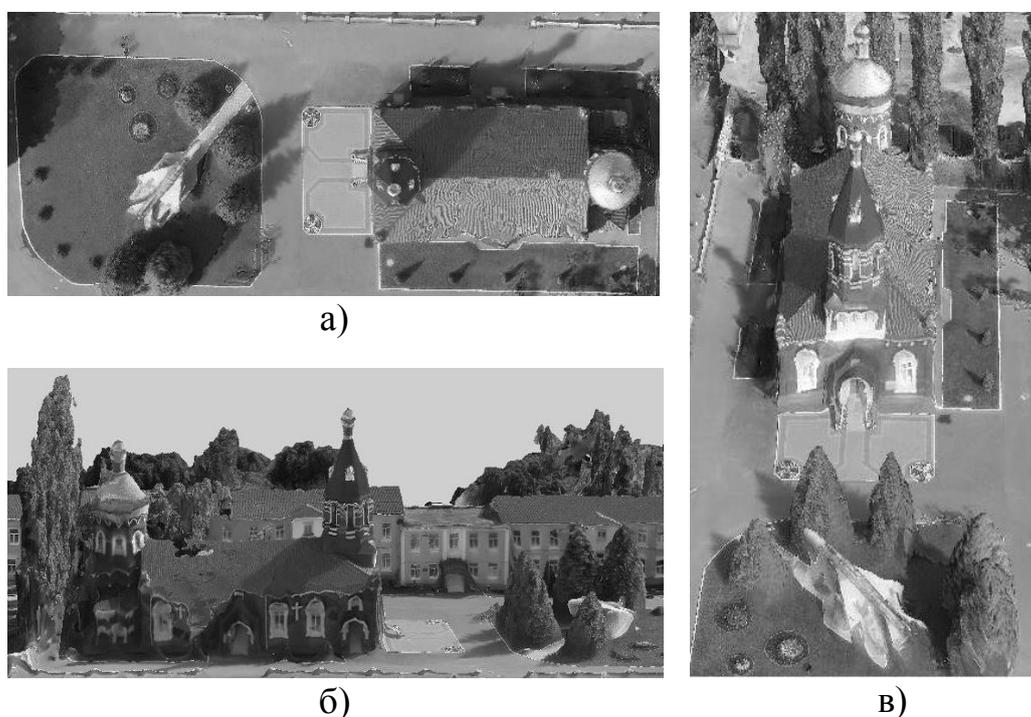


Рисунок 4 – Построение трехмерной полигональной модели:  
а) вид сверху; б) вид справа; в) вид спереди

Седьмой этап объединяет все предыдущие этапы построение 3D модели. Результатом выполнения данного этапа является получение ортофотоплана изображения высокого качества.



Рисунок 4 – Построение ортофотоплана

Восьмой этап заключается в построении карты высот отснятой местности. Карта, на которой отражаются возвышенности и низменности позволяет легко определить нахождение военной техники противника (самолётов, танков и т.д), а также определить расположение окопов и замаскированной техники. По существу, это представление поверхности модели в виде равномерной матрицы высот.

На рисунке 5 можно увидеть перепады высот между поверхностью земли минимальной высотой и куполом здания максимальной высотой. С помощью изолиний высот можно определить высоту объекта.

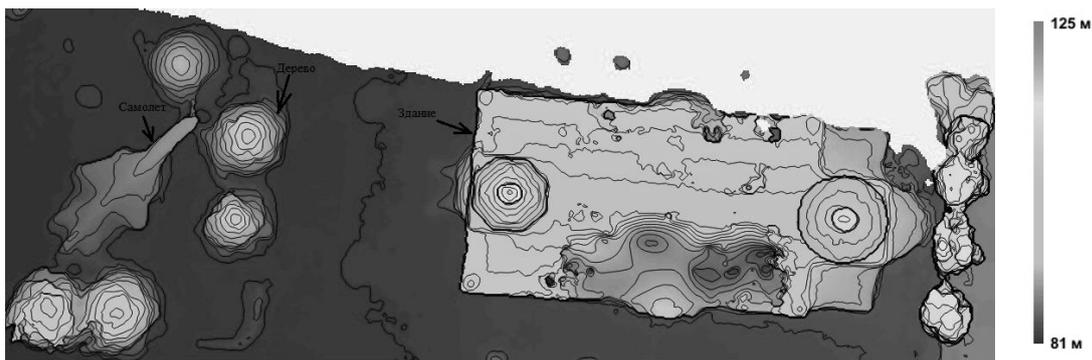


Рисунок 5 – Карта высоты с выделенным контуром

**Вывод:** Представленные в статье результаты обработки данных воздушного фотографирования позволяют дополнительно выявить новые дешифровочные данные (высот) участка местности. Это позволит сформировать траекторию полета ракеты в обход этих заградительных объектов. Трехмерное моделирование позволяет

получить наглядное представления обо всех объектах противника и расположение его военной техники или войск в трехмерной системе координат, правильно спроектировать поведение робототехнического комплекса с учетом высоты, размеров объекта и его координат. С помощью 3D модели можно детально рассмотреть под любым ракурсом, с любых точек отснятую местность. Таким образом моделирование должно стать неотъемлемой частью воздушной разведки, которая открывает новые возможности в получении более точных разведывательных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan// AgiSoft LLC. 2014. – 90 с.

Сергеев В.В., к.б.н., доцент, профессор АВН, начальник 23 НИО Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева;

Булатов О.Г., к.в.н., старший научный сотрудник, профессор АВН, старший научный сотрудник 23 НИО Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева;

Жернаков А.Б., научный сотрудник 23 НИО Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева

### **Развитие беспилотной авиации в интересах материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации**

Ключевые слова: грузовой БЛА, техническое обеспечение, восстановление ВВСТ, передовые технологии, тушение пожаров, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций, робототехника материально-технического обеспечения.

*Рассмотрены предпосылки, пути создания и применения беспилотной авиации в интересах материально-технического обеспечения ВС РФ и других «силовых» министерств, ведомств РФ в бою (операции) и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.*

В последние три десятилетия XX - XXI в. беспилотная авиация получила мощный импульс развития. Исследования и опытно-конструкторские работы по этой тематике проводятся во всех развитых в технологическом отношении странах.

Беспилотная авиация во многом повторяет путь развития пилотируемой авиации, получившей свое стремительное развитие в начале прошлого века, особенно в годы первой мировой войны. Сначала над полями сражений появились самолеты-разведчики, затем к ним присоединились истребители и, наконец, бомбардировщики. В период между двумя мировыми войнами получили свое развитие штурмовая и транспортная авиация. Беспилотная авиация в нашей стране, в русле общемировых тенденций, развивается в направлениях создания разведывательных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), аппаратов для картографирования, радиолокационной разведки, действий по обеспечению ударов и огня ракетных войск и артиллерии СВ и для выполнения дополнительных функций. Достижения в этой области продемонстрированы в 2015-2016 гг. на выставках серии «Армия-2015», «Армия-2016», МАКС-2015, однако необходимо

**отметить: грузовых беспилотных летательных аппаратов (ГрБЛА) на выставках представлено не было.**

Об острой необходимости применения таких БЛА вертолетного типа стало понятно еще в 1986 г. при ликвидации катастрофы на Чернобыльской АЭС. Военные пилоты-вертолетчики, многие из которых прошли Афганистан, вынуждены были вручную сбрасывать мешки с песком и свинцом прямо в эпицентр взрыва – разрушенный энергоблок АЭС. При этом жизнь и здоровье экипажей подвергались смертельной опасности.

Следует констатировать, что по прошествии 30 лет БЛА для выполнения задач в подобных экстремальных ситуациях не создано.

На наш взгляд, **грузовые БЛА** могут привлекаться для решения гораздо большего спектра задач. Прежде всего – **в интересах материально-технического обеспечения войск.**

Для понимания сути рассматриваемой проблемы полезно обратиться и к зарубежному опыту. Так, в 2010 г., в США прошли испытания беспилотного аппарата К-МАХ, на базе существующего вертолета («летающий кран») К-1200 Камап К-МАХ. Испытания проводились на полигоне в Юме, штат Аризона, в рамках тендера ВМС США на создание транспортных БЛА [1]. Масса вертолета без груза составляет 2,34 т. При этом беспилотник способен перевозить грузы массой до 2,7 т на расстояние до 500 км и развивать скорость до 185 км/ч (рисунок 1).



Рисунок 1 – Беспилотный вариант вертолета К-МАХ

В 2011 г. испытания продолжились в Афганистане, где в 2009 и 2010 гг. потери от применения противником минно-взрывных устройств составили 58- 60 % соответственно от общих потерь в результате враждебных действий противника. Доставку

продовольствия и боеприпасов на отдаленные аванпосты провинции Гильменд осуществляли двумя беспилотными вертолетами. По данным с сайта [icasualties.org](http://icasualties.org) [2], именно в этой провинции силы ISAF имели максимальные людские потери – более 950 человек.

В 2013 г. один беспилотник был потерян. Всего же, за время их нахождения в Афганистане, они совершили более 1000 операций доставки, поставив, по информации от различных источников, от 1,35 до 2,25 тыс. т грузов [3]. В настоящий момент разрабатывается концепция их применения в ВМС США, формируются методы и процедуры их использования. Окончательное формирование требований ожидается в течение четырех лет. Через 7 лет, к 2022 г. планируется их серийное производство и принятие на вооружение [4].

Таким образом, можно сделать однозначный вывод, что применение грузовых БЛА уже в настоящее время – объективная реальность. Организация МТО войск с использованием этих аппаратов может решить целый ряд проблем, которые назрели в современных ВС РФ и требуют скорейшего разрешения. К наиболее важным проблемам необходимо отнести:

- доставка материальных средств воинским гарнизонам в Арктическом регионе на протяжении практически всего Северного морского пути (как на островах, так и на материке) (рисунок 2);

- эта же задача весьма актуальна для формирований ВДВ, морской пехоты, Сухопутных войск, действующих в отрыве от главных сил;

- обеспечение продовольствием, водой, ГСМ, медикаментами, электрогенераторами, палатками и т.п. материальными средствами формирований МЧС, действующих в районе чрезвычайных ситуаций (землетрясение, наводнение, цунами, техногенные катастрофы, природные пожары и др)

- тушение массовых пожаров в тайге, лесах, в степи, при угрозе населенным пунктам;

- тушение пожаров на особо опасных объектах: АЗС, складах ГСМ, трубопроводах, предприятиях химической промышленности, арсеналах (базах, складах) боеприпасов и других «критических» объектах (рисунки 3 и 4);

- в экстремальных ситуациях эвакуация тяжелораненых и тяжелобольных, когда на месте квалифицированную помощь оказать невозможно, а фактор времени играет решающее значение;

- организация доставки военно-технического имущества (ВТИ) на передовые сборные пункты повреждённых машин (СППМ) без эвакуации их на тыловые СППМ и др. задачи (рисунки 5 и 6).

С учетом зарубежного опыта решения задач грузовыми БЛА, необходимо выработать предварительные ТТХ к ним. В первую

очередь целесообразно определить тип БЛА, а во вторую – класс аппаратов по грузоподъемности.

В настоящее время существуют два типа БЛА: **самолетный** и **вертолетный**. По нашему мнению, для эффективного выполнения указанных выше задач предпочтение следует отдать **вертолетному типу БЛА**. Главный довод в пользу вертолетов – возможность зависания над указанной точкой (например, при тушении пожара) и посадки на нее для доставки груза. Кроме того, для БЛА этого типа не нужна взлетно-посадочная полоса (ВПП), а при парашютном способе посадки БЛА самолетного типа, особенно при сильном ветре, возможна не только авария, но и снос БЛА в ближайший водоем, овраг, лес, а то и к противнику.

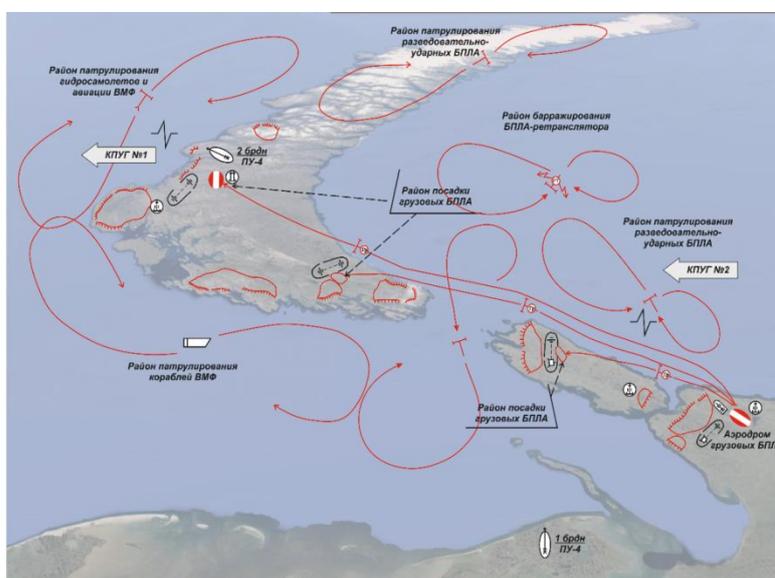
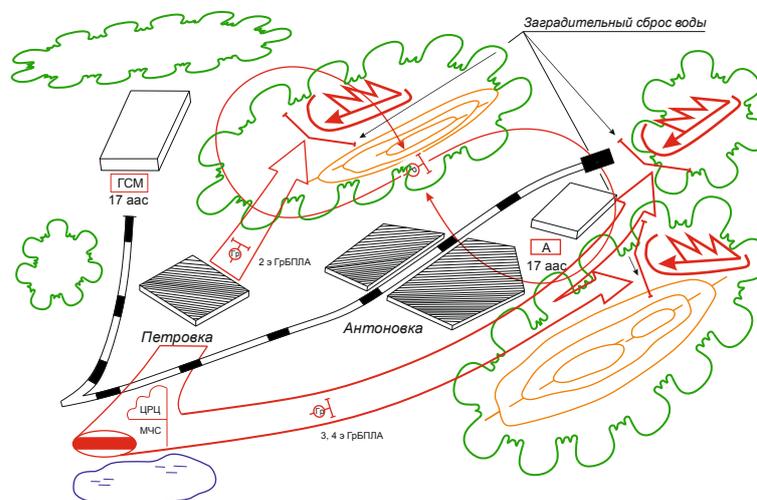


Рисунок 2 – Доставка материальных средств в Арктическом регионе с применением ГрБЛА (вариант)





отличить от термина «транспортный», который предназначен для перевозки и грузов, и людей. Рассматриваемый ГрБЛА-ВТ, в основном, предназначен для перевозки грузов.

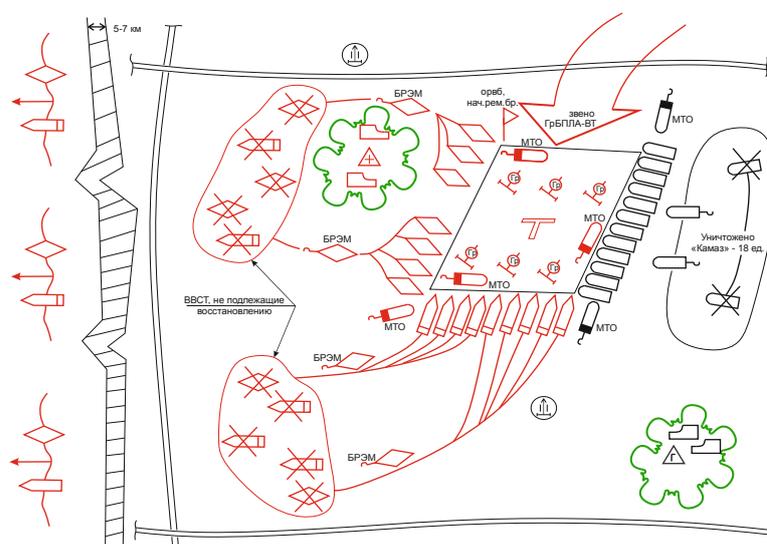


Рисунок 6 – Организация работ по ремонту и восстановлению ВВСТ в районе №1 (вариант, ремонтная рота мотострелкового соединения совместно с выездной ремонтной бригадой из *орвб* объединения)

Предварительные тактико-технические требования приведены в таблице 1.

Кроме того, для ГрБЛА-ВТ, выполняющих боевые задачи, должна быть предусмотрена возможность самоликвидации при угрозе захвата противником по команде, передаваемой дистанционно, с любого пункта управления (с земли, с пилотируемого вертолета (самолета) или через БЛА-ретранслятор.

Система управления группой БЛА должна обеспечивать управление взлетом, построением походного порядка; в полете (корректировка, при необходимости, по высоте, по направлению), а также – необходимое рассредоточение БЛА для исключения их столкновения и аварии в полете или при посадке.

Транспортирование грузов целесообразно осуществлять в съемном контейнере под фюзеляжем (основной способ), для ускорения загрузки (погрузки) контейнер должен быстро стопориться в походном положении и расстопориваться при посадке на грунт. При перевозке негабаритных грузов может использоваться внешняя подвеска (в благоприятных условиях).

Важной характеристикой БЛА должно стать наличие вертолета-«лидера». Через этот аппарат должно идти управление группой БЛА из 2–8 ед. С помощью «лидера», а при выходе его из строя – «второго

лидера», в автоматизированном режиме должна быть обеспечена возможность группового взлета, построение походного порядка (например, в кильватер, «крыло», углом вперед/назад и т.п), высота и маршрут до цели; посадка в заданном районе с разведением каждого БЛА на свою точку на безопасном расстоянии друг от друга.

Таблица 1 – Тактико-технические требования к ГрБЛА-ВТ (вариант)

№ п/п	Характеристики	Класс БЛА		
		Легкий	Средний	Тяжелый
1	Максимальная взлетная масса, т	2,2	2,3-8	9 и более
2	Максимальная грузоподъемность, т	до 1,0	1–4	4,5 и более
3	Скорость max/крейсерская, км/ч	150/120	250/200	250/200
4	Высота полета, max/min, м	70/3000	100/3000	1000/3000
5	Возможность бреющего полета с огибанием рельефа	+	+	+
6	Система управления в полете	Инерциальная/ГЛОНАСС		
7	Возможность управления:			
	- с земли	+	+	+
	- с пилотируемого верт. (самол)	+	+	+
	- через БЛА-ретранслятор	+	+	+
8	Дальность полета, км (с возможностью установки дополнительных баков)	до 150	300-500	до 800
9	Наличие аппаратуры свой/чужой	+	+	+
10	Время подготовки к повторному вылету (без времени на погрузку/разгрузку), мин	7-10	10-20	20-25
11	Диапазон рабочих температур окружающего воздуха, град С	от +50 до -60		
12	Наличие закрытых каналов управления, шт.	2	2	3
13	Возможность управления через БЛА-лидер группой вертолетов	+	+	+
14	Скорость ветра при посадке/взлете, м/с	до 25		
15	Всепогодность/всесуточность	+	+	+
16	Вооружение**			
	7,62 пулемет (1700 патр., анал. К-32) ПТРК «Атака», ед.ПТУР	1 2	1* 2*	1* 2*
17	Бронирование, активная защита от ЗРК	+	+	+
18	Устройство для самоликвидации**	+	+	+

Примечание:

\* устанавливается на БЛА-лидерах и на их дублерах

\*\* на ГрБЛА, предназначенных для МЧС, не устанавливается

Кроме того, для сбора информации в полосе пролета и соблюдения безопасной дистанции между аппаратами, на каждом из них должны быть размещены 2–3 видеокамеры.

Важными мероприятиями для повышения живучести должны стать:

- способность группы боевых БЛА совершать полет с огибанием рельефа местности «на бреющем» полете с высотой 70–100 м;
- применение технологии типа «стелс»;
- бронирование БЛА.

Еще одно требование к системе управления БЛА – возможность в полете развернуть их в обратном направлении в экстренных случаях: район доставки занят противником, залит наводнением, в указанном районе – массовый пожар и в других подобных ситуациях.

Неоспоримыми преимуществами ГрБЛА-ВТ перед пилотируемыми вертолетами являются:

- независимость от погодных условий и времени суток (дождь, туман, метель, задымление, ночь и т. п.);
- отсутствие летного экипажа (пилота);
- отсутствие систем жизнеобеспечения экипажа (пилота) и системы катапультирования, что значительно увеличивает полезную нагрузку аппарата;
- БЛА не подвержен «человеческому фактору»: он не знает стресса, усталости, страха, плохого самочувствия, бесшабашного лихачества и т. п.
- подготовка наземного (воздушного) оператора БЛА возможна в течение 2-6 месяцев, пилота – 5 лет; кроме того, нет необходимости рисковать жизнью и здоровьем людей, спасать их в случае аварии (катастрофы), при поражении огнем противника, отказе техники и т.п. случаях;
- беспилотный аппарат, по предварительным оценкам, должен быть в 2-3 раза дешевле пилотируемого вертолета МИ-8.

Предварительно, для проведения НИОКР по рассматриваемой тематике, можно определить, что грузовые БЛА-ВТ должны составить основу части, подчиненной заместителю Командующего оперативным, оперативно-стратегическим объединением по МТО.

В составе этой части целесообразно иметь:

- до трех вертолетов МИ-8 (для управления подразделениями БЛА при выполнении ими различных задач) в качестве воздушного ПУ; при необходимости с этого ПУ заместитель Командующего объединением может управлять и подчиненными формированиями в ходе подготовки и проведения операции;

- до трех вертолетов МИ-26 для перевозки БЛА, средств управления ими и всестороннего обеспечения;
- подразделение БЛА, оснащенное аппаратами разведывательно-ударного типа и ретрансляторами;
- основные подразделения грузовых БЛА 36-54 ед. для выполнения задач по боевому предназначению;
- подразделения технического и тылового обеспечения.

Таким образом, формирование грузовых БЛА вертолетного типа должно стать «инструментом» срочной доставки в распоряжении командования объединения. При этом «инструмент» может быть использован в интересах любой из тыловых и технических служб; ракетно-артиллерийского вооружения, бронетанковой, инженерной, РХБЗ, продовольственной, вещевой, ГСМ и др.

В результате, при реализации наших предложений, грузовые беспилотные летательные аппараты могут занять часть ниши транспортной авиации, т.е. тех авиационных перевозок, которые в настоящее время выполняют самолеты ВТА и вертолеты армейской авиации. Особенно в тех условиях, когда выполнение задач сопряжено с риском для жизни и здоровья экипажей. По нашему мнению, это позволит удешевить перевозки и снизить количество авиапроисшествий с гибелью и увечьями людей.

На наш взгляд, создание ГрБЛА-ВТ – прорывная технология «двойного назначения», которая может способствовать решению многих проблем МТО не только в формированиях Министерства обороны, МЧС, Национальной гвардии, Пограничной службы ФСБ и других министерств и ведомств РФ.

Список используемых источников:

1. KAMAN K-MAX Completes U.S. Navy Unmanned Cargo Assessment at Yuma [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.suasnews.com/2011/10/lockheed-martinkaman-k-max-completes-u-s-navy-unmanned-cargo-assessment-2/>
2. Fatalities by Province [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://icasualties.org/oef/>.
3. Shalal-Esa A. US Marines extend K-MAX unmanned helicopter's use in Afghanistan / A. Shalal-Esa // Reuters. - 2013. - No. 18/03. – Режим доступа: <http://www.reuters.com/article/lockheed-unmanned-helicopter-idUSL1N0C603420130318>
4. K-Max Set to Pass ARES, AACUS [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.defenseindustrydaily.com/mistake-slows-k-46-timetable-minusma-takes-delivery-of-tatas-k-max-set-to-pass-ares-aacus-030593/>

Стоянов Ю.П., председатель совета директоров, ГК «Стилсофт»;  
Евдокимов А.Н., специалист, ГК «Стилсофт»

## **Применение БЛА для охраны объектов**

Современные технологии беспилотных летательных аппаратов позволяют автоматизировать большую часть процесса полёта, превращая БЛА в подвижную летающую платформу, комплектуемую различными приборами в зависимости от требования ситуации. Одной из областей применения такой платформы сегодня является видеонаблюдение на охраняемых объектах различного уровня.

В качестве одного из примеров рассмотрим военные объекты второй и третьей категории, укомплектованные охранными извещателями по периметру, но не имеющие телевизионной системы наблюдения. Инструкции предписывают при каждой тревоге охранного извещателя прибыть на место его установки дежурному наряду для визуальной отработки инцидента. Для первичной оценки ситуации с целью исключения ложной тревоги можно использовать БЛА с камерой. Высокая скорость полёта и минимальное время вылета позволят ему быстро достигнуть отдалённых участков охраняемого периметра. Оператор БЛА может осмотреть интересующий его участок, понять необходимость выезда караула и принять соответствующее решение.

В случае оснащения объекта телевизионной системой наблюдения (ТСН), например, военных объектов первой категории, камерами полностью контролируют внешний периметр и важные участки внутри периметра. Зона за внешним периметром на расстоянии более 50 метров и большая часть внутренней территории стационарным видеонаблюдением не охватывается. Расширить зону видеоконтроля может БЛА с видеокамерой. Небольшая масса в несколько килограммов и высокая надёжность позволяют безопасно использовать их для наблюдения за внутренней территорией объектов. Даже не летая над ней непосредственно, например, над складами с взрывоопасным содержимым, можно вести наблюдение с помощью камер с оптическим увеличением на расстояниях в сотни метров. Таким же образом можно контролировать подступы к внешним границам периметра.

Особый интерес в применении БЛА представляет то, что не может предоставить ни одна из стационарных камер – поиск нарушителя на открытом пространстве и, при необходимости, сопровождение нарушителя до момента прибытия военного караула.

Для осуществления охраны периметра БЛА должен обладать рядом обязательных характеристик:

– средства визуального обнаружения целей, как в светлое, так и в тёмное время суток. В дневное время видеокамера должна иметь возможность распознавания человека на открытом пространстве с высоты в 50-100 метров. При полёте на таких высотах риск повреждения БЛА нарушителем существенно снижается за счёт выхода из зоны поражения подручными средствами. Для визуального обнаружения целей в ночное время суток БЛА оборудуется тепловизором. Цель типа «человек» обнаруживается тепловизором на удалении до 300 метров.

– возможность вылета в холодное и теплое время года, при максимально широком диапазоне температуры воздуха;

– возможность вылета в дождь и снег;

– сопротивляемость ветру должна быть больше, чем преобладающие в конкретной местности ветра.

Для осуществления охраны объекта недостаточно иметь всепогодный БЛА с возможностью распознавания нарушителя. Система безопасности охраняемого объекта и беспилотный аппарат должны быть объединены в единый комплекс. Сигналом к взлёту БЛА должно служить пересечение зоны обнаружения извещателя охраны периметра, координаты которого заранее известны. По этим координатам БЛА автоматически или с подтверждением оператора взлетает со стартового стола и в автоматическом режиме летит к месту сработки извещателя.

Для обеспечения постоянной готовности БЛА одним из основных компонентов комплекса является стартовый стол, обеспечивающий возможность взлёта БЛА при любой погоде и в любое время года. Он должен быть оснащен куполом, защищающим взлётную площадку от осадков в виде дождя и снега, иметь систему вентиляции, предотвращающую перегрев аккумуляторов в летнее время года и систему подогрева, поддерживающую оптимальную температуру зимой. Находясь на дежурстве на стартовом столе, БЛА пребывает в режиме постоянной готовности к вылету. При получении команды на взлёт, защитная крышка стартового стола открывается, и БЛА совершает вылет, взлетая и приземляясь в полностью автоматическом режиме. После приземления, БЛА подключается к зарядной станции и заряжает аккумуляторные батареи. Стартовый стол, отвечающий всем вышеописанным требованиям, позволит минимизировать участие обслуживающего персонала охраняемого объекта в организации полётов БЛА.

При необходимости покрытия больших площадей охраняемых объектов необходима сеть базовых станций ретрансляции сигнала управления и передачи видео. При полётах БЛА должен переходить из зоны действия одной станции в другую в автоматическом режиме. Для

обеспечения постоянного наблюдения с воздуха, должна быть возможность полёта и управления, одновременно, несколькими БЛА. Так же для обеспечения автоматизации взлёта в комплекс охраны периметра с БЛА может входить метеостанция. Перед взлётом проверяются погодные условия: температура воздуха и сила ветра, на соответствие критериям эксплуатации БЛА.

Целесообразно применять два способа охраны периметра с помощью беспилотных летательных аппаратов, используя камеры с оптическим увеличением и с широким углом обзора.

Камера с оптическим увеличением.

При сработке извещателя охраны периметра оператор инициирует вылет БЛА. Стартовый стол автоматически открывается и БЛА летит в зону сработки извещателя в автоматическом режиме. Долетев до точки назначения, оператор посекторно осматривает периметр с помощью камеры БЛА оснащённой оптическим увеличением. Углы поворота камеры контролируются программой.

Опознав нарушителя, оператор начинает отслеживать его передвижения и отправляет координаты нарушителя дежурному наряду, при этом продолжая преследовать нарушителя до момента его задержания. Если заряда аккумуляторов БЛА недостаточно, оператор отправляет ему на замену другой БЛА. Резервный БЛА совершает полёт в автоматическом режиме. После его прибытия, оператор переключит управление на него и продолжает отслеживание нарушителя, а БЛА с разряженной аккумуляторной батареей автоматически отправляется на место посадки. После задержания нарушителя БЛА в режиме автопилота возвращается к стартовому столу и происходит перезарядка аккумуляторов. БЛА снова готов к вылету.

Этот способ эксплуатации БЛА подходит и для периодических инспекционных полётов над охраняемой территорией.

Широкоугольная камера.

При сработке извещателя охраны периметра оператор инициирует вылет БЛА. Стартовый стол автоматически открывается и БЛА вылетает в зону сработки извещателя в автоматическом режиме. Долетев до точки назначения, БЛА переходит в режим патрулирования и начинает облёт зоны поиска по спирали. Необходимую скорость БЛА для режима патрулирования вычисляется по формуле, выведенной из соотношения площади, на которой может находиться нарушитель и площади, которую обследует БЛА.

Благодаря высокой скорости полёта БЛА и сравнительно небольшой скорости пешего нарушителя, оператор обнаружит его в течении нескольких минут, после сработки охранного извещателя. Для

поиска нарушителя целесообразно применять алгоритмы компьютерной обработки видео на предмет поиска движущихся целей.

Критичной характеристикой, при использовании этого метода, является скорость полёта БЛА, чем раньше БЛА прибудет к месту пересечения охраняемого периметра и начнёт поиск, тем выше будут шансы найти нарушителя. Обнаружив нарушителя, оператор сообщает патрульному наряду координаты нарушителя. До прибытия наряда и задержания нарушителя, оператор его сопровождает. Как и в предыдущем примере, имеется возможность отправки резервного БЛА. После задержания нарушителя БЛА в режиме автопилота возвращается к стартовому столу и совершает посадку. После посадки происходит перезарядка аккумуляторов и БЛА снова готов к вылету.

Оба способа позволяют найти нарушителей периметров охраняемых объектов. Использование камеры с оптическим увеличением позволяет распознать и идентифицировать интересующие объекты или нарушителей, с меньшим расходом заряда аккумуляторов. В светлое время суток целесообразно использовать камеру с оптическим увеличением. Тактика патрулирования местности с камерой с широкоугольным объективом более предпочтительна для обнаружения движущихся нарушителей. Этот способ лучше использовать в тёмное время суток, заменив камеру на тепловизор. Комбинирование этих методов обеспечит круглосуточное применение БЛА.

Для выполнения этих требований компанией «Стилсофт» разработан комплекс охраны периметра с БЛА «Альбатрос», обладающим следующими характеристиками:

- камера 5 МП с широкоугольным объективом на гиростабилизированной платформе;
- камера 2 МП с оптическим увеличением 10x на гиростабилизированной платформе;
- тепловизор на гиростабилизированной платформе;
- возможность полёта при температуре воздуха от -30 до +50 градусов Цельсия. Ограничением является полёт при температуре от 0 до -3 градусов при конденсировании влаги в воздухе, из-за обледенения воздушных винтов;
- корпус БЛА защищён от осадков в виде дождя и снега;
- ветер, при котором возможна штатная эксплуатация БЛА до 10 м/с с порывами до 15 м/с;
- время полёта 35 минут при скорости полёта до 12 м/с, или 25 минут при скорости до 17 м/с;
- радиус применения 6 км;
- скорость полёта до 17 м/с (60 км/ч);

- автоматический полёт по маршруту, с использованием сигналов позиционирования ГЛОНАСС;
- управление и передача видео по зашифрованному каналу связи;
- интеграция в СПО «Синергет», поддерживающий широкий набор охранного оборудования;
- в состав комплекса входит стартовый стол с возможностью автоматического взлёта, с ручной постановкой на дежурство. Один стол обеспечивает охрану 16 квадратных километров объекта.

Использование комплекса «Альбатрос» позволит обеспечить качественную охрану объектов разного уровня сложности, учитывая требования помехоустойчивости и защиты передаваемых данных.

Струков С.Ю., к.т.н., начальник управления, ВУНЦ ВВС «ВВА»  
(г. Воронеж);

Губанова Е.С., младший научный сотрудник, ВУНЦ ВВС «ВВА»  
(г. Воронеж)

### **Информационно-управляющая система поддержки этапа эксплуатации комплексов с беспилотными летательными аппаратами**

Поддержание на должном уровне исправности комплексов с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА) и боевой готовности авиационных частей тесно связано с эффективным функционированием инженерно-авиационного обеспечения и обработкой больших потоков информации. В связи с постоянным увеличением объема передаваемой и обрабатываемой информации, разнородностью задач традиционные способы передачи документов не обеспечивают оперативного принятия решений.

Возросший объемом документов, подлежащих заполнению личным составом инженерно-авиационной службы, с одной стороны, и создание в настоящее время информационно-управляющих систем инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации, с другой стороны, вызывает необходимость разработки новых подходов по повышению автоматизации работы с эксплуатационной документацией, за счет использования возможностей автоматизированных средств контроля технического состояния авиационной техники.

Необходимо отметить, что информационно-управляющие системы инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации, принятые на снабжение, фактически представляют собой информационные системы обеспечения технической эксплуатации, при отсутствии компонента управления. Для исследования возможностей по передаче информации о техническом состоянии авиационной техники выбраны автоматизированные средства контроля, обладающие способностью передачи данных во внешние информационные системы и (или) формирования единой базы данных (электронных эксплуатационных дел (формуляров) авиационной техники).

Одним из основных видов деятельности высшего военно-учебного заведения является научная работа. Её направление по обоснованию перспектив развития и совершенствования вооружения и военной (специальной) техники, разработку способов их боевого применения, эксплуатации и ремонта может быть реализовано путем совершенствования методологии эксплуатации вооружения и военной техники по техническому состоянию, прежде всего применительно к государственной военной авиации.

Практическая реализация метода эксплуатации авиационной техники военного назначения по фактическому техническому состоянию, с контролем параметров, невозможна без проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на совершенствование средств и методов контроля технического состояния авиационной техники в условиях эксплуатации.

Вместе с тем, для обеспечения эксплуатации авиационной техники по техническому состоянию, методом контроля уровня надежности, должны проводиться исследования, направленные на корректировку объема и периодичности работ по техническому обслуживанию, а также по определению возможности увеличения её ресурса и срока службы. Для этого необходимо обеспечить постоянный сбор информации о неисправностях и отказах авиационной техники, выявленных в эксплуатирующих организациях и при ремонте на предприятиях промышленности. На основании анализа этой информации могут быть оценены тенденции и факторы изменения состояния авиационной техники в процессе эксплуатации, а по каждому комплектующему изделию, эксплуатируемому до безопасного отказа, проводится периодический контроль уровня безотказности, при необходимости, разрабатываются мероприятия по обеспечению заданного уровня безотказности.

Анализ процессов сбора информации о неисправностях и отказах авиационной техники, ведения формуляров и паспортов авиационной техники, заполнения отчетной документации позволяет сделать вывод о том, что данные виды работ фактически не автоматизированы. Актуальность проблемы автоматизации ведения документации подчеркивается возросшим объемом документов, подлежащих заполнению личным составом инженерно-авиационной службы. В качестве примера можно привести:

ведение учета поврежденности и выработки ресурса основных деталей двигателя (представляет собой дополнительный лист в разделе наработки двигателя или отдельный журнал, состоящий из девяти столбцов, при этом столбцы со второго по восьмой заполняются шестизначными значениями. При этом расчет и контроль поврежденности основных деталей двигателя с использованием программного модуля наземных устройств обработки полетной информации «СКАТ», «АРМ-ТСВ» ведется после каждого летного дня, но записывается в бумажный формуляр двигателя каждые  $50 \pm 5$  часов наработки до достижения доли исчерпания ресурса 95% одной из основных деталей двигателя. В связи с этим возникает проблема хранения информации между записями в бумажный формуляр, особенно при перебазировании без баз данных наземных устройств

обработки полетной информации. «АРМ-ТСВ» не формирует единой базы обработанной полетной информации, результаты обработки хранятся в отдельных файлах);

ведение паспорта виброхарактеристик двигателя;

ведение журналов данных для расчета эксплуатационной нагруженности планера самолетов (состоящий из восьми столбцов, содержащих информацию о продолжительности полета, минимальной и максимальной перегрузке, взлетной и посадочной массе. Ведется на каждый вылет);

ведение книг учета работы воздушных судов и расхода топлива «форма 77» (двадцать столбцов, ведется на каждый вылет);

ведение журналов налетов воздушных судов авиационной эскадрильи, и т.д.

Очевидно, что для ведения упомянутой документации используется один и тот же источник – наземные устройства обработки полетной информации и результаты обработки полетной информации, формализованные в виде журнала учета обработки информации бортовых устройств регистрации по авиационной технике. Форма журнала определена приложением № 5 к приказу главнокомандующего Воздушно-космическими силами № 620 от 6 декабря 2016 г. «Руководство по организации объективного контроля в авиации Воздушно-космических сил». Очевидно, что того количества параметров, записываемого в определенных Приказом графах, не достаточно для хранения информации о техническом состоянии авиационной техники. С другой стороны, увеличение количества параметров, при условии их ручной записи в журнал, не представляется рациональным исходя из трудоемкости процесса.

Для обработки информации необходимо создание самостоятельных программно-аппаратных комплексов или использование ресурсов, находящихся на разных этапах создания информационно-управляющих систем, которые в той или иной степени обеспечивают автоматизацию решения задач инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации:

автоматизированная система контроля движения, наличия и расходования горюче-смазочных материалов в ВС РФ (АСК ГСМ) и АСУ МТО Палас;

автоматизированный комплекс мониторинга технической эксплуатации самолета Су-34 (АКМ-34);

интегрированная система управления технической эксплуатацией изделия «296» (ИЛП-28М);

специализированная лаборатория поддержки эксплуатации вертолетов Ка-226.80, укомплектованная электронными эксплуатационными делами;

автоматизированная система обеспечения эксплуатации, ремонта и обслуживания техники ВМФ в составе интегрированной автоматизированной системы управления ВМФ (АСУ ТехО ВМФ);

информационно-управляющая система сервисной поддержки эксплуатации парка самолетов государственной авиации (ОАК Сервис).

Разработка «Автоматизированного комплекса мониторинга технической эксплуатации самолета Су-34» является продолжением работ в рамках развития «Информационной системы обеспечения технической эксплуатации» (ИСОТЭ) и «Информационной системы интегрированной логистической поддержки» (ИС ИЛП) самолетов марки «Су».

Специализированная лаборатория поддержки эксплуатации вертолетов Ка-226.80 укомплектовывается не только электронными эксплуатационными делами (на основе ИУС «Эрлан-3»), но и электронной документацией. Так же для вертолета Ка-226.80 разработан «Каталог деталей и сборочных единиц».

Интегрированная система управления технической эксплуатацией изделия «296» (ИЛП-28М) включает в себя следующие информационные подсистемы:

подсистему информационной поддержки - интерактивные электронные технические руководства;

подсистему планирования процедур технического обслуживания и ремонта;

подсистему планирования материально-технического обеспечения процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта;

подсистему информационно-диагностической поддержки эксплуатации.

АСУ ТехО ВМФ представляет собой информационно-управляющую систему, включающую в себя автоматизированные функциональные подсистемы по видам технического обеспечения ВМФ, в том числе инженерно-авиационного обеспечения авиации ВМФ. В целом АСУ ТехО ВМФ предназначена для автоматизации процессов сбора, обработки, накопления, хранения и передачи информации о состоянии ВВСТ ВМФ, планирования и контроля выполнения заказов и поставок ВВСТ, управления техническим обеспечением ВМФ.

Необходимо отметить, что сами по себе автоматизированные информационные системы интегрированной логистической поддержки жизненного цикла авиационных комплексов являются авиационной техникой. Требования о необходимости разработки системы ИЛП заданы в ТТЗ на перспективные авиационные комплексы фронтовой и дальней авиации, модернизированные боевые самолеты и вертолеты. Система ИЛП предназначена для сбора, накопления и предоставления субъектам системы необходимой информации о техническом состоянии,

как отдельных летательных аппаратов (ЛА), так и всего парка однотипных ЛА в целом, а также об условиях их эксплуатации, возникших отказах и неисправностях, об особенностях технического обслуживания, ремонта и возникающих потребностях в материально-технических ресурсах [1, 2].

Так, АКМ-34 предназначен для информационного обеспечения процессов технической эксплуатации самолета Су-34. АКМ-34 является не только источником информации из эксплуатирующей организации, но и потребителем информации из соответствующих информационных систем разработчиков и изготовителей АТ. А в перспективе должна обеспечивать отображение указаний ИАС ВВС, в части касающейся изменения ресурсов и сроков службы воздушных судов и их составных частей. В составе комплекта аппаратных средств АКМ-34 как основной компонент предусмотрен АРМ формирования и ведения электронного эксплуатационного дела самолета (на основе ИУС «Эрлан-3»).

Передача необходимой информации для автоматизированного заполнения электронного эксплуатационного дела (формуляра) самолета возможно после проведения объективного контроля полётной информации, через АРМ группы контрольно-записывающей аппаратуры и обработки информации (КЗА и ОИ) оснащенные наземными устройствами обработки информации типа «Топаз-М», «АРМ-ТСВ». Импорт результатов экспресс-анализа из наземных устройств обработки полетной информации был предусмотрен в ИУС «Эрлан-2». И был продемонстрирован на этапе приемочных испытаний ИУС «Эрлан-3». В данном случае представляется возможным автоматизированная регистрация всех отказов и повреждений, даже ложных, с целью оценки собственно системы объективного контроля.

Однако, для ведения электронного эксплуатационного дела (формуляра) самолета недостаточно только информации бортовых устройств регистрации полетной информации. Так, для автоматизированного заполнения раздела формуляра по периодическому контролю параметров работы силовой установки, выполняемых силами технико-эксплуатационной части, необходимо применение автоматизированных средств эксплуатационного контроля типа АРМ ДК-30 (СД) серия М (разраб. НПП "ИДС МАЯК", серийный завод «Концерн «КЭМЗ»).

В части, касающейся наземного автоматизированного контроля технического состояния КБЛА необходимо отметить средства эксплуатационного контроля комплексов КБЛА, в которые в общем случае входят:

а) Наземно-бортовая система контроля общесамолетных систем и двигателя, включающая:

встроенную систему контроля и датчики общесамолетных систем

и двигателя;

АРМ оператора наземного пункта технического обслуживания по проверке общесамолетных систем и двигателя;

средства управления и контроля наземного пункта управления;

б) Наземно-бортовая система контроля бортового оборудования КБЛА, включающая:

встроенную систему контроля бортового оборудования и целевой нагрузки;

АРМ операторов наземного пункта технического обслуживания по проверке бортового оборудования и целевой нагрузки КБЛА;

средства управления и контроля бортового оборудования с наземного пункта управления;

в) Переносная контрольно-проверочная аппаратура (из состава наземного пункта технического обслуживания) отдельных образцов бортового оборудования КБЛА;

г) Наземная автоматизированная система контроля (НАСК) из состава средств войскового ремонта КБЛА и его оборудования;

д) Встроенная система контроля аппаратуры наземного пункта управления, наземного пункта обеспечения и наземных средств обеспечения автоматического взлета и посадки.

Автоматизированная система контроля движения, наличия и расходования ГСМ в ВС РФ (АСК ГСМ) предусматривает использование для передачи информации автоматизированную систему управления «Палас». Для унификации и минимизации количества АРМ находящихся в эксплуатации одними и теми же должностными лицами, целесообразно информационно связать данные системы и реализовывать на единых АРМ эксплуатанта.

Дальнейшим развитием информационно-управляющих систем инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации может быть дополнение функционала электронного эксплуатационного дела (формуляра) самолета электронным журналом подготовки к полетам воздушного судна (ЭЖПВС). В связи, с чем возникнет необходимость, кроме прочего, регистрации количества горюче-смазочных материалов, спецжидкостей и газов на воздушном судне (дозаправленного и фактического) перед полетом, что уже должно быть реализовано АСК ГСМ. А также автоматизированной регистрации с помощью НАСК результатов контроля технического состояния бортового оборудования ВС и АСП, во время оперативных видов подготовки.

В настоящее время обеспечение управления повседневной деятельностью Воздушно-космических сил возлагается на Национальный центр управления обороной Российской Федерации. В частности, одной из задач Национального центра управления обороной является контроль состояния Вооруженных Сил и обеспечение этой

информацией руководства Министерства обороны. Наиболее востребованной является информация о прогнозировании технического состояния парка эксплуатируемой авиационной техники, а также о снабжении эксплуатирующих организаций запасными частями. Для подготовки исходных данных для Национального центра управления обороной по этим вопросам логично использовать создаваемые в настоящее время информационно-управляющие системы инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации.

Таким образом, военно-научное сопровождение опытно-конструкторских работ по созданию информационно-управляющих систем инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации личным составом ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» является существенным практическим вкладом в решение научной задачи обеспечения эксплуатации государственной военной авиации по фактическому техническому состоянию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53393-2009 Система интегрированной логистической поддержки. Построение и функционирование системы. С. 30.
2. ГОСТ Р 53392-2009 Система интегрированной логистической поддержки. Процедуры анализа. С.16.

Хрипушин Д.В., к.т.н., доцент, начальник управления, НИИИ (РЭБ) ВУНЦ ВВС «ВВА»;

Линник И.В., к.т.н., начальник отдела, НИИИ (РЭБ) ВУНЦ ВВС «ВВА»

### **Способы совместного применения БЛА РЭБ и наземных комплексов радиоподавления в условиях радиоэлектронного конфликта**

Отличительной особенностью современных средств радиосвязи является широкое использование разнообразных способов передачи сообщений и помехозащищенных режимов работы, основными из которых являются режим работы с программной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) и режим работы с ретрансляцией.

Возможности существующей и разрабатываемой наземной техники РЭБ по радиоэлектронному подавлению таких радиоэлектронных средств со своей территории ограничены. Это связано с объективно существующими факторами, основными из которых являются:

- ограниченная пропускная способность наземной техники радиоэлектронного подавления (РЭП);

- предельный уровень быстродействия наземной техники РЭП (для радиоподавления телекодовых сообщений и режимов работы с ППРЧ);

- ограниченная дальность радиоподавления.

Одним из направлений повышения эффективности радиоподавления современных систем радиосвязи является совместное применение наземных комплексов РЭП (КРЭП) и передатчиков заградительных помех, установленных на беспилотных летательных аппаратах. Достичь повышения эффективности радиоподавления предполагается как за счет индивидуальных достоинств данного класса военной техники, так и путем парирования недостатков каждого вида техники РЭБ при их совместных действиях.

Достоинства и недостатки средств РЭБ на наземных и воздушных носителях представлены в таблице 1.

Основными направлениями повышения эффективности радиоподавления современных систем радиосвязи являются:

- наращивание помехового ресурса;

- применение комплекта техники РЭБ способных изменять свои свойства в зависимости изменяющихся условий радиоподавления;

- сокращение цикла управления.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки техники РЭБ на наземных и воздушных носителях.

Тип средства РЭБ	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Наземная техника РЭБ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность целенаправленного подавления радиоэлектронных средств (РЭС) противника.</li> <li>2. Высокая готовность к выполнению задач.</li> <li>3. Высокая эффективность радиоподавления узкополосных (низкоскоростных) видов передач.</li> <li>4. Отсутствие необходимости отслеживания изменения координат при известных частотах РЭС противника (при зональном и секторном способе радиоподавления (РП)).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ограниченная дальность радиоподавления с учетом рельефа местности.</li> <li>2. Необходимость вскрытия и отслеживания большого числа рабочих частот.</li> <li>3. Необходимость реализации высокого быстродействия.</li> <li>4. Низкая эффективность радиоподавления помехозащищенных режимов (в т.ч. ППРЧ).</li> <li>5. Невозможность быстрого перенацеливания за пределы зоны действия антенн.</li> <li>6. Ограниченная пропускная способность.</li> <li>7. Ограничения по электромагнитной совместимости (ЭМС).</li> </ol>
Техника РЭБ на воздушных носителях	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сравнительно большая дальность РП.</li> <li>2. Возможность РП большого числа РЭС противника в зоне подавления.</li> <li>3. Имеется возможность РП помехозащищенных режимов связи противника в широком диапазоне режимов работы РЭС.</li> <li>4. Высокая маневренность.</li> <li>5. Отсутствие необходимости вскрытия и отслеживания рабочих частот противника.</li> <li>6. Необходимость знания координат объектов (с невысокой точностью).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необходимость большого количества БЛА при рассредоточении в пространстве объектов.</li> <li>2. Необходимость удаления от своих РЭС (для обеспечения ЭМС).</li> <li>3. Сложность согласованного управления (БЛА, находящихся в других частях).</li> <li>4. Зависимость от погодных условий.</li> </ol>

Исходя из этих особенностей, предложены следующие способы совместного применения БЛА РЭБ и наземных комплексов РЭБ: это разделение их по пространству, по частоте и во времени. Эти способы охватывают все принципиально возможные пути парирования радиоэлектронного конфликта между наземной и воздушной техникой РЭБ. Иллюстрация применения данных способов представлена на рисунке 1.

Необходимо отметить наличие средств связи противника, находящихся в зоне ответственности наземного комплекса, но недоступных для радиоподавления им энергетически и по режимам

работы средств связи, а также их высокую плотность и наличие узлов ретрансляции.

Система управления техникой РЭБ на воздушных и наземных носителях должна обеспечивать практическое выполнение следующих функций:

- оценку эффективности вышеперечисленных способов совместного применения разнотипной техники РЭБ для конкретных условий;
- принятие решения о способе радиоподавления (количестве средств РЭП и режимах их работы, способе согласования действий и пространственном размещении);
- информационно-техническое сопряжение разнотипной техники РЭБ, обеспечивающее обмен информацией в объеме, соответствующем способу согласованного применения средств.

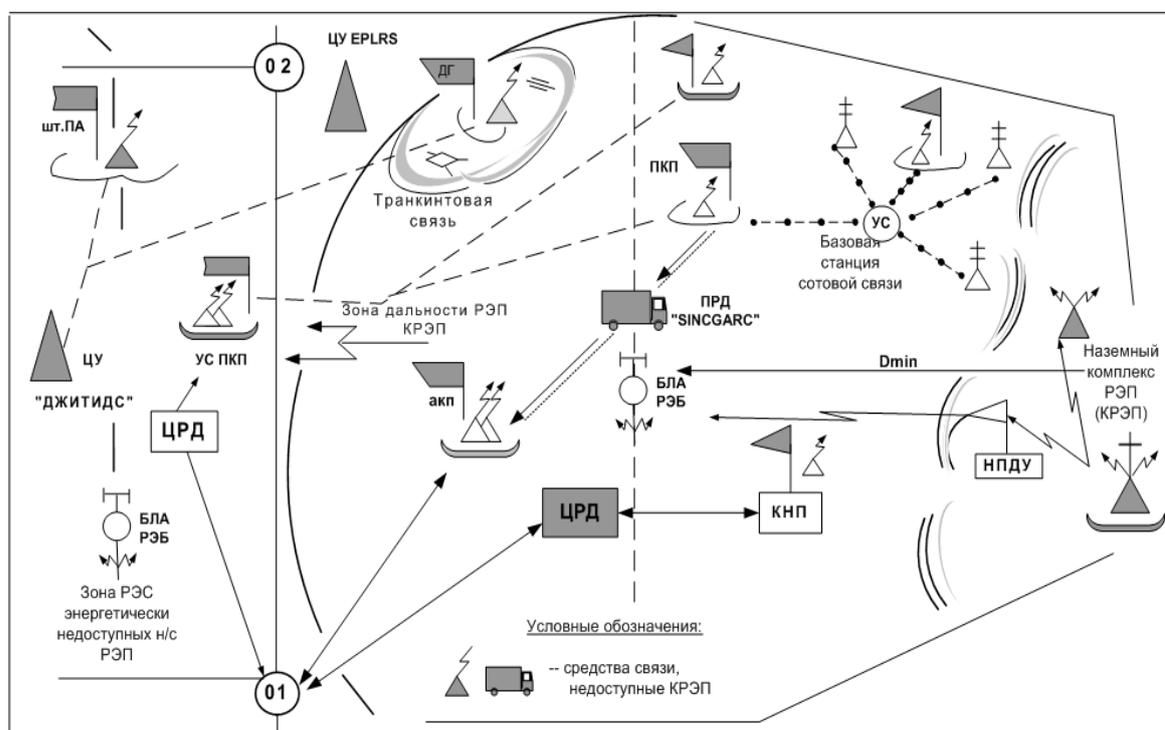


Рисунок 1 – Вариант построения перспективной системы связи вооруженных сил ведущих государств мира и совместное воздействие на неё техникой РЭБ на наземных и воздушных носителях

Реализация предложенных способов может быть осуществлена за счет решения следующих основных задач:

- выбор оптимального пространственного размещения разнотипной техники РЭБ;
- выбор оптимального частотного диапазона, выделяемого для каждого типа техники РЭБ;

– выбор оптимальных временных интервалов, выделяемых для работы каждому типу техники РЭБ.

Согласование применения БЛА РЭБ и наземных комплексов РЭП по пространству, осуществляется с целью повышения эффективности радиоподавления за счет:

– обеспечения подавления с БЛА РЭБ объектов в зонах, энергетически не доступных для наземных станций помех;

– уменьшения зон, а, следовательно, и количества объектов, выделяемых для подавления наземным комплексам РЭП;

– создания для наземных комплексов благоприятных энергетических условий, позволяющих реализовать их потенциальную пропускную способность.

При разделении по пространству для БЛА РЭБ и наземных комплексов выделяются разные зоны подавления, однако при этом помехи создаются в общем диапазоне частот. В этом случае БЛА РЭБ могут оказывать непреднамеренное мешающее воздействие на подсистему разведки наземного комплекса РЭП.

Эти ограничения могут быть сняты при применении БЛА РЭБ и наземных комплексов РЭП с согласованием по диапазону частот. Данный способ основан на том, что весь выделенный для подавления диапазон частот разбивается на неперекрывающиеся участки, выделяемые для работы БЛА РЭБ и наземных комплексов.

Согласование применения БЛА РЭБ и наземных комплексов РЭП по диапазону частот осуществляется с целью:

– исключения воздействия помех, создаваемых БЛА РЭБ, на средства радиоразведки наземных комплексов;

– обеспечения возможности выбора оптимальных зон барражирования БЛА РЭБ в связи с отсутствием ограничений по их удалению от наземных комплексов;

– уменьшения количества объектов РЭП для наземных комплексов;

– сокращение времени реакции наземного комплекса (вследствии сокращения выделяемого диапазона частот);

– увеличение радиуса подавления БЛА РЭБ (т.к. сокращение выделяемого диапазона частот ведет к увеличению спектральной плотности помехи).

Наиболее эффективен способ при совместном, согласованном применении БЛА РЭБ и наземных комплексов во времени. Суть данного способа заключается в обеспечении работы БЛА РЭБ в единой временной циклограмме со средствами наземного комплекса, то есть включение передатчиков БЛА РЭБ на излучение происходит синхронно с передатчиками наземных станций помех, а их выключение – на время ведения радиоразведки. Данный способ позволяет снять все

ограничения по пространственному размещению БЛА РЭБ относительно наземных комплексов и не ограничивает выделяемые диапазоны частот каждому средству РЭБ.

Применение вышеперечисленных способов совместного применения техники РЭБ на наземных и воздушных носителях приведет к значительному повышению эффективности радиоподавления [1] за счет получения синергетического эффекта от их совместных действий, когда эффективность суммарного воздействия значительно превосходит сумму эффектов от каждого средства РЭБ в отдельности. Синергетический эффект достигается за счет того, что при оптимальном совместном применении каждый из разнотипных комплексов работает по тем объектам по которым его эффективность максимальна.

#### **Список использованных источников**

1. Балыбин В.А., Донсков Ю.Е., Линник И.В., Радиоподавление современных систем радиосвязи / Военная Мысль – 2006 № 8.

Черкасов И.В., ведущий инженер, ООО «ОКБ УЗГА»  
г. Екатеринбург

## **Подготовка внешних пилотов БЛА**

*Аннотация:* В докладе рассматривается вопрос о необходимости подготовки внешних пилотов БЛА и программа их подготовки.

*Ключевые слова:* БЛА, внешний пилот, оператор БЛА.

На данный момент остро стоит вопрос по подготовке внешних пилотов БЛА. Он связан с тем, что при испытаниях как разрабатываемой, так и серийной беспилотной техники рано или поздно возникают нештатные ситуации, связанные с отказом бортового оборудования, что грозит потерей дорогостоящего БЛА, не говоря о возможном ущербе третьим лицам и жертвах. Это обуславливает участие внешнего пилота в первом вылете каждого образца беспилотной авиационной техники. Необходимость наличия внешнего пилота, так же, связана с тем, что информация о состоянии БЛА поступает к оператору БЛА, находящемуся в наземной станции управления, с некоторой задержкой (до 1 с), что существенно сказывается при интенсивном пилотировании БЛА и делает ручное управление для оператора почти невозможным.

Опыт стран, лидирующих в разработке беспилотной техники (Израиль, США), показывает, что ни один первый вылет даже серийно выпускаемого летательного аппарата не проходит без участия внешнего пилота.

Следует отметить, что при эксплуатации серийных, уже испытанных, комплексов с БЛА нет необходимости во внешних пилотах. Это увеличивает влияние человеческого фактора, аварийность, затраты на подготовку расчета КБЛА и эксплуатацию. Следовательно, наличие внешнего пилота необходимо только на предприятиях-разработчиках и -изготовителях при испытаниях беспилотной техники.

По ряду причин невозможно использование профессиональных пилотов пилотируемой авиации в качестве внешних пилотов БЛА. Т.к. отличается принцип получения обратной связи о состоянии летательного аппарата. Если пилот пилотируемого летательного аппарата ориентируется на свой вестибулярный аппарат, показания приборов и визуальную информацию, получаемую из кабины пилота, то внешний пилот ориентируется только на визуальную информацию при сопровождении БЛА взглядом и голосовые сообщения о скорости и

высоте, получаемые от оператора БЛА, находящегося в наземной станции управления.

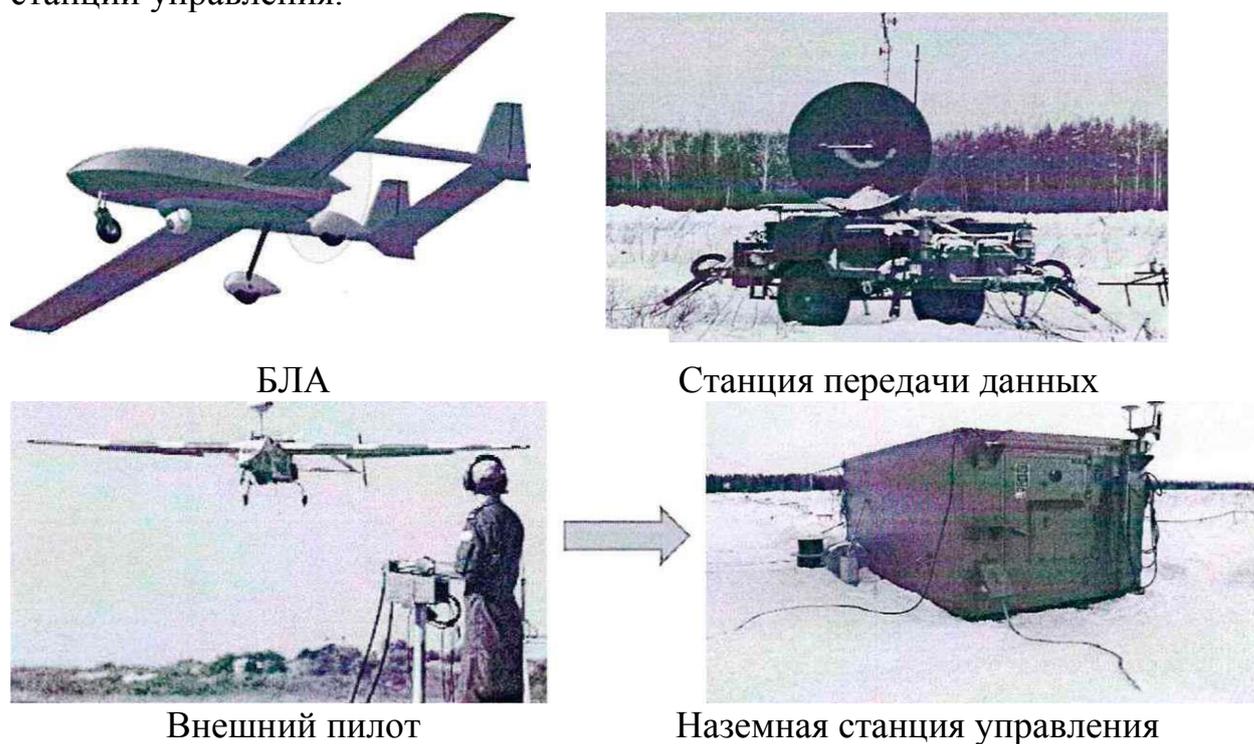


Рисунок 1 – Схема взаимодействия внешнего пилота с КБЛА

На данный момент имеются значительные наработки в системе обучения внешних пилотов и в архитектуре программно-аппаратных средств для управления БЛА с помощью внешнего пилота.

Ниже приведена краткое содержание программы обучения внешнего пилота для БЛА среднего и тяжелого класса:

1. Начальная теоретическая подготовка, включающая в себя: основы аэродинамики; основы самолетовождения; основы авиационной метеорологии; фразеология радиообмена; основы воздушного законодательства; основы конструкции летательных аппаратов; первоначальная подготовка в объеме пилота сверхлегкого летательного аппарата

2. Подготовка на тренажере, включающая: полеты на цифровом тренажере; выработка навыков пилотирования при взгляде на ЛА со стороны.

3. Подготовка на легкой авиамодели (размах крыла до 2 м), включающая в себя: полеты на авиамодели с инструктором (с возможностью перехвата управления инструктором); полеты с выполнением взлета и посадки; полеты с выполнением пилотажа.

4. Подготовка на полноразмерном БЛА включающая себя: полеты с инструктором (с возможностью перехвата управления инструктором); самостоятельные полеты для освоения модели

поведения ДА с выполнением взлета и посадки; выполнение основных проверочных процедур (проверка скорости срыва, выход из срыва и т.п)

На основании всего вышеизложенного представляется целесообразным организовать централизованную систему обучения внешних пилотов БЛА на базе учебно-тренировочных центров ГА или ВКС. С одновременным формированием законодательной базы для аттестации, поддержания квалификации и выдачи лицензий внешних пилотов.

Чурыбкин Н.Н., к.т.н., доцент, доцент кафедры применения подразделений специального назначения РВВДКУ;  
Попов Н.М., курсант РВВДКУ

### **Эффективность применения беспилотных летательных аппаратов разведывательными органами**

Проблема эффективного мониторинга окружающей среды, поиска различных объектов является актуальной в самых разнообразных областях человеческой деятельности, причем зачастую ее решение осложняется влиянием различных неблагоприятных факторов, например, повышенной радиацией или наличием вредных веществ в областях техногенных катастроф. Тем более актуально это при решении задач военного характера, борьбе с террористическими группами, наркобизнесом. В этих случаях особенно эффективным становится использование для этих целей беспилотных летательных аппаратов.

Определение их рациональных параметров в ходе общего проектирования требует использования специального методического аппарата, а также критериальных функций, позволяющих осуществить обоснованное формирование тактико-технических требований к создаваемому аппарату.

Поиск объектов можно представить как разворачивающийся во времени процесс, последовательность действий в котором может приводить к различным результатам. Задачей теории поиска объектов при этом является выработкой методов определения наилучшего плана поиска, обеспечивающего из множества возможных альтернатив, такой способ действий, который приведет к обнаружению объекта при минимальных затратах времени и средств.

Своевременное и надежное обнаружение объектов зависит от многих факторов, основными из которых являются следующие:

- способ поиска (маршрут полета, профиль полета, последовательность просмотра местности или пространства и т.д);
- аппаратура, используемая для обнаружения объектов;
- характер объектов;
- меры противодействия обнаружению, предпринимаемые противником.
- погодные условия;
- рельеф местности.

Однако на обнаружение объектов оказывает влияние и ряд случайных факторов, в результате чего заранее нельзя наверняка утверждать, будет или не будет обнаружен объект при данных условиях, и способах поиска. Иначе говоря, обнаружение объекта при

его поиске является случайным событием, а поэтому, характеризуя возможность обнаружения объекта и, следовательно, эффективность его поиска, необходимо использовать соответствующие методы теории вероятностей.

Основным критерием эффективности применения комплекса воздушного поиска является относительная эффективность.

Имитационное моделирование, благодаря быстрому развитию вычислительной техники и программных продуктов, приобретает весьма важное значение в изучении применения робототехники в боевых действиях. Для анализа эффективности применения БЛА применяются многоуровневые математические модели, позволяющие получить максимальное количество информации. Непосредственные испытания БЛА в условиях близких к реальному применению дают надежную информацию, но недостаточную для проведения всестороннего анализа.

На этапе постановки задачи задается оперативно-тактическая обстановка с указанием условий выполнения боевой задачи комплексом воздушной разведки и формируются требования к БЛА и комплексу в целом. Исходя из полученных данных осуществляется выбор комплекса воздушной разведки: с малоскоростным БЛА различной продолжительности полета, со скоростным БЛА и т.п. После этого осуществляется моделирование развития оперативно-тактической обстановки в процессе которого меняются: погодные условия, подвижные объекты разведки (мобильные огневые комплексы, мобильные группы, танки и другая техника сухопутных войск) осуществляют свое движение на заданные рубежи, неподвижные объекты (немобильные огневые комплексы, пункты управления, ложные цели и т.п) могут менять свое состояние (с активного на неактивное и наоборот).

С помощью модели информационного обмена осуществляется формирование временной информационной сети передачи данных потребителям развединформации. Таким образом, в процессе моделирования воссоздается виртуальная среда, в которой должен реализовать свои функции комплекс воздушной разведки. Мерой соответствия исследуемого комплекса воздушной разведки поставленным перед ним задачам является система показателей и критериев. По ним обычно судят о целесообразности применения выбранного комплекса воздушной разведки, рациональных в конкретной обстановке методов поиска целей и т.п.

Перед применением разведывательной аппаратуры необходимо оценить возможность ее применения, для этого необходимо определить вероятность обнаружения объекта и эффективность применения данной аппаратуры.

Вероятность обнаружения объекта разведывательными органами определяется по формуле:

$$P = \frac{2R \cdot V \cdot t}{S} \text{ при } 2R \cdot V \cdot t \leq S, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность обнаружения объекта;  
 $R$  – действительная дальность надежного наблюдения, км;  
 $V$  – скорость поиска, км/ч;  
 $t$  – продолжительность поиска, ч;  
 $S$  – площадь района поиска, км<sup>2</sup>.

Пример расчета вероятности обнаружения объекта без применения БЛА.

Определить вероятность обнаружения объекта за 8 ч, площадь которого 250 км<sup>2</sup>, если скорость поиска 4 км/ч:

$$P = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 8}{250} = 0,3,$$

Пример расчета вероятности обнаружения объекта для более детальной разведки местности.

Определить вероятность обнаружения объекта за 1ч, площадь которого 6 км<sup>2</sup> при дальности надежного наблюдения 0.7 км, если скорость поиска 3 км/ч:

$$P = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 1}{4} = 0,7,$$

Пример расчета вероятности обнаружения объекта с применением БЛА самолетного типа.

Определить вероятность обнаружения объекта за 4 ч, площадь которого 250 км<sup>2</sup>, если скорость поиска с применением БЛА увеличится на 60 км/ч при действительной дальности надежного наблюдения 0.5 км. Так как скорость поиска увеличилась, то уменьшается время на обнаружение объекта в два раза:

$$P = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot 4}{250} = 0,9,$$

Применение БЛА самолетного типа увеличивает вероятность обнаружения объекта на 0.6, но не стоит забывать, что погодные условия тоже влияют на разведку местности.

Пример расчета вероятности обнаружения объекта с применением БЛА самолетного типа для более детальной разведки местности:

Определить вероятность обнаружение объекта за 0.2 ч, площадь которого 5 км<sup>2</sup>, если скорость поиска с применением БЛА увеличится на 60 км/ч при действительной дальности надежного наблюдения 0.2 км.

$$P = \frac{2 \cdot 0.2 \cdot 60 \cdot 0.2}{5} = 0.9,$$

Применение БЛА вертолетного типа не целесообразно применять для ведения разведки где район поиска будет 250 км<sup>2</sup>, так как тактико-технические характеристики летательных аппаратов вертикального взлета и посадки не позволяют применять его для таких задач. Если уменьшить район поиска для более детальной разведки местности или же использовать для наблюдения за противником, наведения и корректировки артиллерии, то БЛА вертикального взлета и посадки применять целесообразней.

Пример расчета вероятности обнаружения объекта с применением БЛА вертолетного типа:

Определить вероятность обнаружения объекта за 0.2 ч в районе холмистой местности, площадь которого 2 км<sup>2</sup> при действительной дальности надежного наблюдения 0.2 км, если скорость поиска с расчетом БЛА увеличится на 25 км/ч.

$$P = \frac{2 \cdot 0.2 \cdot 25 \cdot 0.2}{4} = 0.5,$$

Исходя из формулы определения вероятности обнаружения объекта, можно вычислить эффективность выполнение задач с применением БЛА.

Исходными данными для расчетов служат сведения о количестве имеющихся средств, заданной степени выполнения задачи, данные об эффективности используемых средств, которые выражаются вероятностью выполнения задач или средним значением наносимого ущерба тому или иному объекту противника (под единичным средством понимается также и комплекс средств, объединенных в единое целое). Такими данными, например, являются вероятность поражения цели, средний ущерб, наносимый объекту противника, надежность канала связи, вероятность обнаружения объекта противника, вероятность бесперебойной работы переправы через водную преграду в течении определенного промежутка времени, вероятность преодоления ПВО противника и т.д. Эти данные можно получить на основе результатов учений, из статистических данных и тактико-технических характеристик.

Расчеты степени выполнения задачи заданным количеством средств, выраженные через вероятность выполнения задач представлены по формуле:

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n, \quad (2)$$

где  $P_n$  – вероятность выполнения задачи группой однородных средств;

$P_1$  – вероятность выполнения задачи одним средством;

$n$  – количество имеющихся средств.

Пример расчета вероятности обнаружения объектов при применении двух средств разведки:

Определить вероятность обнаружения объекта противника при совместном использовании двух средств разведки, если их эффективность, выраженная вероятностью обнаружения объекта противника, равна:

$$P_1 = 0,3; P_2 = 0,9,$$

Решение:

$$P_n = 1 - (1 - 0,3)(1 - 0,9) = 0,93,$$

$$P_1 = 0,7; P_2 = 0,9,$$

Решение:

$$P_n = 1 - (1 - 0,7)(1 - 0,9) = 0,97,$$

$$P_1 = 0,3; P_2 = 0,5,$$

Решение:

$$P_n = 1 - (1 - 0,3)(1 - 0,5) = 0,7,$$

В данных примерах вероятность обнаружения объекта противника двумя заданными средствами разведки выше вероятности выполнения задачи без приданных средств и видно, что вероятность выполнения задачи по мере увеличения количества средств растет, однако не прямо пропорционально количеству привлекаемых средств.

Таким образом, выполненные расчеты позволяют оценить эффективность применения четырех однородных средств разведки по обнаружению объекта противника в заданном районе, если вероятность обнаружения одним средством равна 0.5 (50%). По монограмме

вероятность обнаружения объекта четырьмя средствами будет близка к единице (0.94).

Для более простого расчета вероятности обнаружения объекта командиру разведывательного органа на этапе подготовки к выполнению задачи может понадобиться только компьютер и программа Microsoft Excel с целью более быстрого и эффективного расчета вероятности обнаружения объекта и оценки эффективности применения (рисунок 1).

	A	B
1	V	4
2	R	1,3
3	t	8
4	S	250
5	P	0,3328

Рисунок 1 – Расчет вероятности обнаружения объекта с использованием программы Microsoft Excel

Пример расчета вероятности обнаружения объекта с использованием ПЭВМ:

Определить вероятность обнаружения объекта за 8 ч, площадь которого 250 км<sup>2</sup>, если скорость поиска 4 км/ч.

$$P = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 8}{250} = 0,3,$$

Таким же образом можно вычислить степень выполнения боевой задачи, заданной количеством средств (рисунок 2):

	A	B
1	P1	0,3
2	P2	0,9
3	Робщ.	0,93

Рисунок 2 – Расчет степени выполнения боевой задач по программе Microsoft Excel

Пример расчета вероятности обнаружения объекта противника при совместном использовании двух средств разведки, если их эффективность, выраженная вероятностью обнаружения объекта противника, равна:

$$P_1 = 0,3; P_2 = 0,9,$$

Решение:

$$P_n = 1 - (1 - 0,3)(1 - 0,9) = 0,93,$$

Таким образом, оценив эффективность применения беспилотных летательных аппаратов можно сделать вывод, что при их применении эффективность выполняемых задач воздушной разведки, равно как и вероятность обнаружения объектов противника по мере увеличения количества средств растет, однако не прямо пропорционально количеству привлекаемых средств. Наиболее эффективно применять «беспилотники» как вертикального взлета и посадки, так и самолетного типа, но все будет зависеть от выполняемой задачи и технических характеристик применяемых средств. А для более точного и быстрого вычисления эффективности применения тех или иных видов летательных аппаратов можно пользоваться расчетами в программе Microsoft Excel.

Предлагаемая методика также может применяться для расчета широкого круга прямых и обратных задач, связанных с использованием различных сил и средств.

Список литературы:

1 Вайнер А.Я. Тактические расчеты [Текст]: учеб. пособие. –М.: Воениздат, 1982. – 223 с.