

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

924 Государственный центр беспилотной авиации
Министерства обороны Российской Федерации

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬ-
НЫМИ АППАРАТАМИ**

**Сборник статей и докладов по материалам ежегодной
научно-практической конференции**

Коломна, 2016 г.

УДК 681.51

Доклады и статьи ежегодной научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами», г. Коломна, 2016. – 274 с.

В сборник статей и докладов ежегодной научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами» вошли материалы статей и докладов участников конференции.

Все материалы публикуются в авторской редакции.

Организаторы:

924 Государственный центр беспилотной авиации Министерства обороны Российской Федерации

Под общей редакцией к.т.н. Бодрова А.С., Безденежных С.И.
Компьютерная верстка Яшина А.В., Ярыгина Н.С.

924 Государственный центр беспилотной авиации Министерства обороны Российской Федерации (г. Коломна), 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

Доклады ежегодной научно-практической конференции

Фролов В.В.	8
СОСТОЯНИЕ, ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
Агеев А.М., Макаров И.В., Попов А.С.	10
РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ВУНЦ ВВС «ВВА»	
Агеев А.М., Михайленко С.Б., Зезюля В.А.	16
СПОСОБ ТОЧНОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	
Кулещов П.Е., Алабовский А.В., Стоякин В.В., Гостев Ф.А.	23
ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРНЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПРОТИВНИКА	
Савинов Ю.И., Семченков С.М., Васильев Д.А., Алешанов Е.А., Давиденко О.А.	28
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПО ПЕЛЕНГАЦИИ МИНИ И МИКРО-БЛА КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЬЦЕВОЙ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ	
Бабаков В.Н., Борсук О.А., Муравьев А.Б., Кнауэр Г.Э.	34
ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ БЛА	
Бровченко А.Р.	39
СИСТЕМА СВЯЗИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ	
Брюханова Е.Н.	43
МОДЕЛЬ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ	
Волосюк А.А., Захарченко В.С.	48
ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗНОРОДНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	
Волошинов В.Б.	54
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ В СОСТАВЕ АППАРАТУРЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	

Горелов В.И., Ковылов О.В.	57
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ИНТЕРЕСАХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПИЛОТИРУЕМОЙ АВИАЦИИ	
Гулевич С.П., Мельников Д.Н., Суворов А.П.	63
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАРАНТИЙНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАПАСА ТОПЛИВА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
Гулевич С.П., Мельников Д.Н., Суворов А.П.	68
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ ПОЛЁТА С ОГИБАНИЕМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ	
Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Иванов А.В.	75
ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА И ОСНАЩЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЛА	
Злотников К.А., А.Г. Кондратенко А.Г., О.И. Савченко О.И.	81
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ БОЕВЫХ РАСЧЕТОВ НАЗЕМНЫХ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ С БЛА И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНОЙ ТЕХНИКИ	
Извольский А.В., Пьянников А.А.	86
ДООСНАЩЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ С БЛА МОБИЛЬНЫМ ТЕРМИНАЛОМ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ, ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ И СЦЕНАРИЕВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	
Ищук В.И., Мочалов С.А.	93
ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ВМФ	
Кальной А.И.	99
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ СТРЕЛБЫ АРТИЛЛЕРИИ	
Картеничев А.Ю.	106
ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МЧС РОССИИ	
Голубев С.В., Кирьянов В.К.	113
О ПОДХОДЕ К ПОДГОТОВКЕ В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ИНОСТРАННЫХ АРМИЙ	

Голубев С.В., Кирьянов В.К.	120
ПОДГОТОВКА КУРСАНТОВ СПЕЦИАЛИСТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧ БОРЬБЫ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ	
Ковылов О.В.	128
ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ПРОТИВОПРАВНЫХ ЦЕЛЯХ	
Котов А.А.	133
МЕТОДИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ БОЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	
Кровяков В.Б., Ильинов Е.В., Трофимчук М.В., Головнев А.А.	139
ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫЙ МУЛЬТИКОПТЕР	
Лобанов И.А., Рожнов А.В.	146
УПРАВЛЕНИЕ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕМ ПОЛЕ СМЕШАННЫМИ И РАЗНОТИПНЫМИ ГРУППАМИ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ РЕЖИМОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.	
Логинов А.А.	151
ОЦЕНКА РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЛА	
Лоськов В.И.	157
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ БЛА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВЗЛЕТОМ И ПОСАДКОЙ	
Максимов И.Е., Куров В.И., Мозенков А.С.	160
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С КОРАБЕЛЬНЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ	
Кожанов Н.Ю, Танченко А.П., Москаленко Ю.В, Мартимов Р.Ю, Петроченко А.В.	165
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ ВИДОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЛА	
Мезенцев В.В.	172
ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	
Миرونенко А.Н., Дубенсков С.О., Радионов В.А	175
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВОЙСК. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	

Михалев О.А., Галимов А.Ф.	180
АНАЛИЗ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕТРАНСЛЯТОРА РАДИОСИГНАЛА В ИНТЕРЕСАХ СИСТЕМЫ СВЯЗИ МО РФ.	
Молоствов А.В., Марков О.П., Шишков С.В.	186
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ИНТЕРЕСАХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПОЛИГОНОВ	
Шевцов Д.А., Мусин С.М., Турченко И.С.	190
МНОГОПУЛЬСНОЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КАНАЛА ГЕНЕРИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	
Овчаренко К.Л., Еремеев И.Ю.	196
МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА РАДИОКОНТРОЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ VSAT С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕТРАНСЛЯТОРА НА ЛЁТНО-ПОДЪЁМНОМ СРЕДСТВЕ	
Васильев В.Б., Оков И.Н., Стрежик Ю.Н., Устинов А.А., Швецов Н.В.	202
СЖАТИЕ И ЗАЩИТА ВИДЕОДАННЫХ В РАДИОКАНАЛАХ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ БЛА	
Демиденко А.Г., Осипов Д.А.	205
ПРИМЕНЕНИЕ ГИС "ОПЕРАТОР" В КОМПЛЕКСАХ С БЛА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ	
Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Иванов А.В.	211
ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА И ОСНАЩЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЛА	
Павлов Р.А.	217
МАЛЫЙ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ (ПЛАТФОРМА) С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ	
Пьянников А.А., Извольский А.В.	223
ДООСНАЩЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ С БЛА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРОЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГНСС ГЛОНАСС/GPS С РЕАЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ. АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ТОПОПРИВЯЗКИ КОМПЛЕКСА С БЛА	
Разиньков С.Н., Решетняк Е.А.	227
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ	
Свищо В.С.	235
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕНАЖЕЙ НА УНИФИЦИРОВАННОМ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ «ТРЕНИРОВКА»	

- Селиверстов Д.Е.** 238
АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
ОПЕРАТОРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ
- Стагин С.С., Гетманцев А.Ю.** 244
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
БОРЬБЫ В КОМПЛЕКСАХ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ
- Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А., Талаев А.Д.** 248
МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕТИ СВЯЗИ ГРУППИРОВКИ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
- Ташков С.А., Шатовкин Р.Р.** 252
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВ
ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО
ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.
- Толчков А.Н.** 258
АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ СВЯЗИ ГРУППЫ БЛА В УСЛОВИЯХ
ОРГАНИЗОВАННОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ
- Федюнин П.А., Ивануткин А.Г.** 263
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛЁТНЫХ ПРОВЕРОК НА БАЗЕ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
- Лазуткин А.В., Урванцев Р.А., Флоров А.В., Шинкевич М.В.** 268
АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПОЛЁТАХ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ СЕРИИ SUPERCAM В СЛОЖНЫХ
МЕТЕОУСЛОВИЯХ ДЛЯ КАРТОГРАФИИ И ВИДЕОРАЗВЕДКИ
- Ташков С.А., Шатовкин Р.Р.** 273
МОДЕЛИРОВАНИЕ «ДРЕЙФА НУЛЯ» АКСЕЛЕРОМЕТРА И ГИРОСКОПА
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В.В. ФРОЛОВ, кандидат военных наук, начальник
924 Государственного центра беспилотной
авиации МО РФ (г. Коломна)

СОСТОЯНИЕ, ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Необходимость проведения научно-практической конференций назрела давно, с момента существенных изменений в области беспилотной авиации, в деятельности и значимости нашего Центра.

В истории развития Центра были разные периоды. Многое пришлось пережить личному составу, руководству, прежде чем Министерство обороны РФ начало достойным образом уделять внимание Центру и понимать значимость беспилотных комплексов, которые своим функционалом сохраняют жизни многих людей в различных операциях.

В 2009 году, Центр с подчиненными ему частями был передислоцирован в город Коломну на базу расформированного высшего военного артиллерийского командного училища. Два полка, отдельная эскадрилья БЛА и авиационно-техническая база переформированы в 215 авиационную базу.

В последующем было переподчинение различным органам управления: Главному штабу ВВС (службе разведки), 4-му Государственному центру подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний МО РФ (г. Липецк), 467 межвидовому окружному учебному центру Западного военного округа (г. Ковров).

Однако ни в одной из них не смог стать структурой, в полном объеме отвечающей современным требованиям по выполнению задач по предназначению. Основной причиной этого являлся ведомственный подход, стремление сузить решаемые Центром задачи до решения задач только в своих интересах.

Создание в 2013 году Управления (строительства и развития системы применения беспилотных летательных аппаратов) Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации и переформирование Центра в 924 Государственный центр беспилотной авиации позволило четко структурировать управление беспилотной авиацией в масштабах Вооруженных Сил, оперативно решать вопросы подготовки специалистов, формирования подразделений беспилотных летательных аппаратов и оснащать их современными образцами вооружения, военной и специальной техники.

В настоящее время 924 ГЦ БпА имеет следующую организационно-штатную структуру: управление и службы Центра, центр (подготовки специалистов беспилотной авиации), центр (исследовательский, боевого применения и войсковых испытаний беспилотной авиации), центр (боевого применения и летной подготовки авиационного персонала беспилотной авиации).

Основными задачами Государственного центра являются:

подготовка специалистов для подразделений, вооруженных комплексами с беспилотными летательными аппаратами;

Основные функции центра по подготовке слушателей и курсантов по специальностям обучения представлены на слайде.

проведение научной работы в области беспилотной авиации;

проведение войсковых испытаний (опытной эксплуатации) комплексов с беспилотными летательными аппаратами;

Основные функции центра по проведению исследований представлены на слайде.

применение подразделений беспилотных летательных аппаратов в интересах видов и родов войск Вооруженных Сил, специальных войск, других заинтересованных министерств, ведомств и организаций Российской Федерации.

Еще одной немаловажной задачей является участие в обеспечении подразделений беспилотных летательных аппаратов, входящих в состав воинских формирований видов и родов войск ВС РФ, комплексами с БЛА, поступающими от предприятий промышленности.

Объекты, инфраструктура мест дислокации Государственного центра позволяет выполнять задачи по предназначению. Проводить теоретические и практические занятия, организовывать и проводить полеты беспилотных летательных аппаратов всех типов.

Вооружение Центра в настоящее время составляют комплексы с беспилотными летательными аппаратами различных типов.

Комплексы ближнего действия представлены предприятиями ИЖМАШ-беспилотные системы – это Гранат 1, 2, 3, Тахион, предприятием ЭНИКС – комплекс с БЛА Элерон-3.

Комплексы малой дальности представлены предприятиями ИЖМАШ-беспилотные системы это Гранат 4, Специальным технологическим центром (г. Санкт-Петербург) – Орлан -10 и Леер-3.

Уральским заводом гражданской авиации представлен комплекс ближнего действия Застава и комплекс средней дальности Форпост, выпускаемые из комплекующих иностранного производства.

Для улучшения условий по выполнению задач по предназначению проводится строительство и реконструкция объектов в местах дислокации Центра.

В г. Коломна ведется строительство штаба, учебного, учебно-демонстрационного, спортивного комплексов и клуба.

В г. Ступино осуществляется реконструкция инфраструктуры аэродрома, которая позволит выполнять полеты беспилотных летательных аппаратов всех типов, проводить полноценную летную подготовку специалистов беспилотной авиации.

А.М. АГЕЕВ, кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела НИЦ (БП и О ВВС) ВУНЦ ВВС «ВВА»
А.С. ПОПОВ, начальник тренажера учебного тренажерного комплекса ВУНЦ ВВС «ВВА»
И.В. МАКАРОВ, технический директор ООО НПП «АВАКС-Гео Сервис» (г. Красноярск)

РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ВУНЦ ВВС «ВВА»

2014 года Главкомандующим Военно-воздушными Силами поставлена задача – активизировать работу по проекту оснащения Военно-воздушной академии экспериментальным беспилотным летательным аппаратом.

Проект предполагает разработку экспериментального БЛА для ВУНЦ ВВС под задачи проведения летных экспериментальных исследований перспективного бортового оборудования и полезных нагрузок – своего рода экспериментальной платформы для проведения научных исследований.

Целевое назначение комплекса:

экспериментальные исследования различного бортового оборудования и целевых нагрузок;

отработка инновационных идей и технологий в области БЛА: новые способы оптикоэлектронной, телевизионной и тепловизионной разведки, перспективные способы автоматической автономной посадки, информационное взаимодействие с пилотируемыми и беспилотными летательными аппаратами;

выполнение научно-исследовательских работ по обоснованию требований к перспективным комплексам с БЛА.

Внешний вид комплекса с указанием основных геометрических размеров представлен на рисунке 1.

С использованием комплекса предполагается решение экспериментальных задач по нескольким научным направлениям академии:

экспериментальная отработка системы высокоточной посадки методом самонаведения на источник радиоизлучения;

экспериментальные исследования характеристик малогабаритных многодиапазонных РЛС с синтезированной апертурой антенны;

исследование научно-методического аппарата редукции многоспектрального кубоида изображений в интересах обнаружения, распознавания и малозаметных объектов военной техники комплексами с БЛА;

экспериментальная отработка алгоритмического обеспечения воздушной разведки с БЛА в интересах экипажей боевых вертолетов;

летные экспериментальные исследования точностных характеристик кольцевых лазерных гироскопов и др.

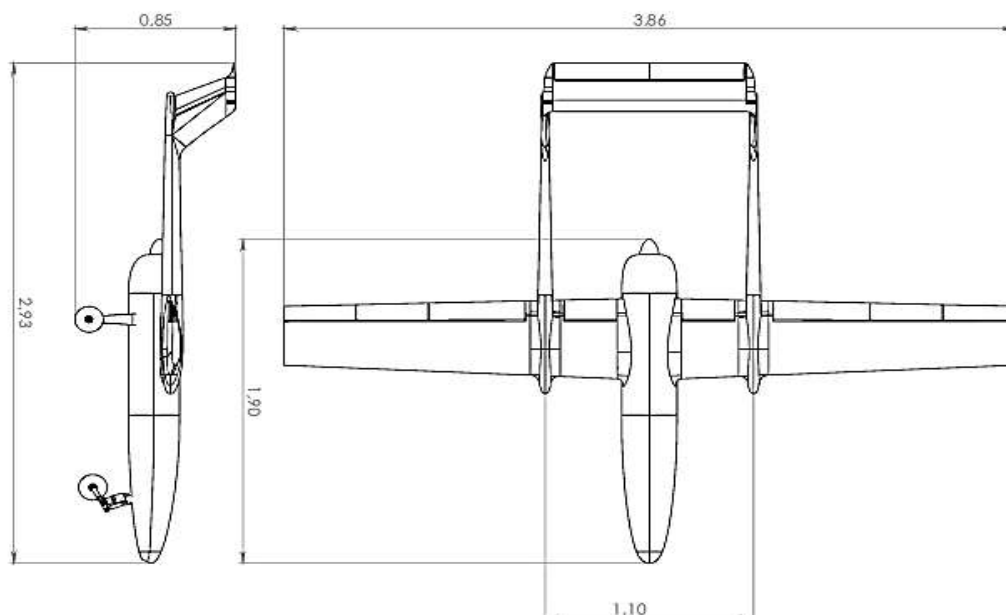


Рисунок 1 – Внешний вид и основные геометрические размеры БЛА «Гамма»

Тактико-технические характеристики комплекса представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Тактико-технические характеристики БЛА «Гамма»

Характеристика	Значение
Размах крыла	4 м
Продолжительность полета	до 12 ч
Дальность действия радиосвязи	50 км
Диапазон скоростей	70-140 км/ч
Крейсерская скорость	120 км/ч
Высота полета	100 м до 3000 м
Взлётная масса	50 кг
Тип силовой установки	двигатель внутреннего сгорания (топливо - авиационный керосин, инжекторное управление)
Мощность бортового генератора	400 Вт
Масса полезной нагрузки	до 15 кг
Диапазон рабочих температур	от -35 до +50°С
Максимальная допустимая скорость ветра	20 м/с
Взлёт и посадка	по-самолётному
Требуемая площадка для взлёта и посадки	10 x 200 м
Аварийная посадка	система автоматического парашютного спасения
Точность навигационной привязки (СКО) базовая комплектация:	в плане 2м, по высоте 3 м

комплектация с ГНСС приёмником повышенной точности (режим RTK)	в плане 0.1 м, по высоте 0.2 м
--	--------------------------------

Кроме перечисленных направлений, БЛА планируется использовать как универсальную научно-исследовательскую платформу для проведения летных экспериментальных исследований в интересах кафедр и научно-исследовательских подразделений академии, а также других организаций Министерства обороны и промышленности по совместным НИОКР в интересах обороноспособности страны.

Работа ведется с 2013 г. в тесной кооперации (научно-техническом сотрудничестве) с изготовителем, что позволяет позиционировать БЛА как совместную разработку ВУНЦ ВВС и АВАКС-ГеоСервис (г. Красноярск). При этом научно-исследовательский коллектив академии принимает участие в каждом из этапов жизненного цикла комплекса: от формирования технического задания до разработки и испытания.

В техническом проекте на разработку комплекса заданы специальные технические требования, определяемые целевым назначением БЛА:

реконфигурируемая система управления (позволит производить исследования без риска возникновения опасных ситуаций);

набор средств регистрации и управления исследовательским оборудованием и целевыми нагрузками различного назначения;

открытые программные средства разработки.

В декабре 2014 г. организована демонстрация прототипа БЛА «Гамма» в академии командованию ВВС, на которой продемонстрирован полноразмерный макет БЛА, элементы комплекса оборудования, технологии и конструкционные материалы, применяемые при его создании.

В ходе научно-технического сопровождения работ по созданию комплекса выполнен комплекс расчетов аэродинамических характеристик планера, созданы имитационные модели динамики полета БЛА, разработан программно-аппаратный комплекс сопровождения разработки БЛА (этапов расчета и автоматизированной разработки систем управления и навигации).

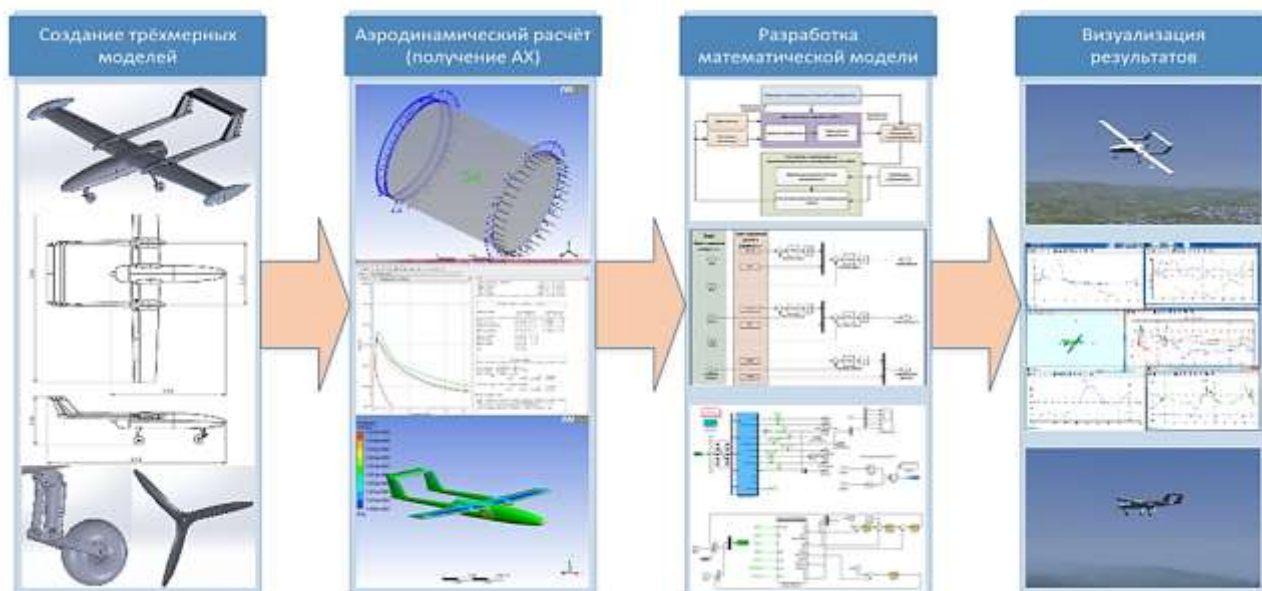


Рисунок 2 – Работы, выполненные специалистами ВУНЦ ВВС «ВВА»

Комплекс работ, выполненный специалистами ВУНЦ ВВС «ВВА» в рамках научно-исследовательской работы «Комплекс 8-14» включал:

обоснование концепции и технологии построения программно-аппаратных комплексов исследования и разработки систем автоматизации управления БЛА;

разработка программных имитационных моделей динамики полета БЛА, элементов комплекса управления БЛА, земной поверхности, атмосферы;

разработка аппаратуры обеспечения информационного сопряжения программных моделей БЛА и аппаратных средств автоматизации управления полетом БЛА;

разработка специализированного управляющего программного обеспечения информационного сопряжения программных моделей БЛА и аппаратных средств автоматизации управления полетом БЛА;

разработка рекомендаций по применению программно-аппаратного комплекса в задачах синтеза бортовых систем управления перспективных БЛА.

В настоящее время завершена работа над специальным программным обеспечением системы управления и комплексом наземной отработки, проведены стендовые испытания двигателя, инженеры академии прошли краткий курс обучения по работе с элементами комплекса, средствами разработки. Оборудована специализированная лаборатория исследования систем управления БЛА, в которой развернут наземный комплекс исследования цифровых систем управления БЛА (рисунок 2), на котором производятся опробование и отладка алгоритмического обеспечения пилотажного и навигационного контуров системы управления до начала летных испытаний БЛА.



Рисунок 3 – Наземный комплекс исследования цифровых систем управления БЛА

По результатам научной работы над проектом опубликованы 6 статей, выпущен научно-технический отчет о НИР (шифр «Комплекс 8-14»), результаты докладывались на 7-х научно-технических конференциях.

В сентябре 2015 г. организована экспозиция БЛА «Гамма» на Международном авиасалоне МАКС-2015 с целью демонстрации и апробации закладываемых технических решений, привлечения к участию в проекте организаций промышленности и ВУЗов. В ходе работы выставки получена договоренность с МВЗ им. Миля на проработку задания на эксперимент с участием ВУНЦ ВВС и АВАКС-ГеоСервис в рамках создания системы вертолетно-беспилотного разведывательно-ударного комплекса.



Рисунок 4 – Экспозиция проекта БЛА «Гамма» на МАКС-2015

Согласно плана-графика работ по созданию комплекса в декабре 2015 г. прошли первые наземные испытания комплекса, на которых успешно опробована работа силовой установки, выполнены испытания всех систем на рулении и пробежках по ВПП при использовании колесных шасси. В январе 2016 года опробова-

ны пробежки по заснеженному грунту при использовании специальных лыжных шасси, успешно испытана система аварийного парашютного спасения. В марте планируются первые летные испытания на базе в г. Красноярск, а затем и в г. Воронеж.



(а)



(б)

Рисунок 5 – Наземные испытания БЛА «Гамма»: а) на колесных шасси, б) на лыжных шасси

Ориентировочно в мае-июне 2016 г. планируется выполнить первый демонстрационный полет в г. Воронеже, после чего начать плановые экспериментальные полеты.

В целом, создание исследовательской платформы на базе БЛА, позволит проводить научно-исследовательские работы по обоснованию требований к перспективным комплексам с БЛА, летные экспериментальные исследования бортового оборудования и аппаратуры полезной нагрузки. Разрабатываемый комплекс позволит решать фундаментальные и прикладные задачи в интересах ряда подразделений академии, повысит уровень учебного и лабораторно-исследовательского оснащения, позволит привлечь к сотрудничеству предприятия промышленности, ВУЗы, научно-исследовательские организации. Само решение сложной комплексной задачи разработки беспилотного летательного аппарата с участием в проекте военных специалистов академии дало положительные результаты в понимании проблем и перспектив развития данной отрасли.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-02611А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обоснование путей построения комплекса исследования и автоматизированной разработки системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом. Научно-технический отчет о НИР (заключительный). Шифр «Комплекс-8-14» № гос. регистрации 1609722. Агеев А.М., Михайленко С.Б. Волобуев М.Ф. и др. ВУНЦ ВВС ВВА, 2015. 185 с.

А.М. АГЕЕВ, кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела НИЦ (БП и О ВВС) ВУНЦ ВВС «ВВА»
С.Б. МИХАЙЛЕНКО, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ВУНЦ ВВС «ВВА»
В.А. ЗЕЗЮЛЯ, оператор научной роты ВУНЦ ВВС «ВВА»

СПОСОБ ТОЧНОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Посадка является неотъемлемым этапом применения любого многоразового беспилотного летательного аппарата (БЛА) независимо от его функционального назначения. Этот этап характеризуется высоким уровнем сложности технической реализации и во многом определяет такие важные характеристики беспилотного комплекса, как допустимые условия применения, гибкость, мобильность, маневренность, автономность, всепогодность, оперативность повторного применения. Поэтому поиск и разработка новых способов, схем и средств посадки БЛА является одной из наиболее актуальных задач, от успешного решения которой, в конечном счете, зависит расширение области применения БЛА и развитие беспилотной авиации в целом.

Любая система посадки БЛА, независимо от реализуемого способа (схемы) посадки, должна решать две задачи:

задачу вывода БЛА в заданную точку (область) пространства с требуемой точностью и заданными значениями углов ориентации БЛА, линейных и угловых скоростей (задачу терминального управления);

задачу полного поглощения (гашения) остаточной кинетической энергии БЛА при сохранении его механической целостности.

Все известные способы посадки БЛА [1] могут быть сведены к следующим основным схемам:

посадка по-самолетному (на взлетно-посадочную полосу);

посадка по-вертолетному (на площадку);

посадка с использованием парашюта;

посадка в улавливающее устройство.

В первых трех схемах для решения задачи терминального управления используется штатное навигационное оборудование БЛА. Вторая задача решается за счет пробега БЛА по полосе до полной остановки, а также за счет применения парашюта или парашютной системы, состоящей из тормозного и основного парашютов [2], и, при необходимости, надувных посадочных баллонов (подушек, амортизаторов), располагаемых под фюзеляжем и крыльями, которые защищают БЛА от повреждений при касании земли. При посадке по-вертолетному вторая задача не

требует решения, так как беспилотный вертолет обеспечивает выполнение посадки с нулевой скоростью приземления.

При посадке в улавливающее устройство требуется высокая точность определения координат БЛА относительно этого устройства, как правило, не обеспечиваемая штатным навигационным оборудованием БЛА. Поэтому реализация этой схемы предполагает разработку специализированного оборудования приведения БЛА в улавливающее устройство, а зачастую, и ручной режим управления БЛА при посадке. При этом главное преимущество схемы посадки в улавливающее устройство состоит в компактности посадочного места (области пространства), что позволяет ее осуществлять, например, на палубу корабля, на небольшие открытые участки местности.

Основным недостатком способа посадки БЛА по-самолетному является низкая автономность осуществления посадки, обусловленная обязательной привязкой к обеспечивающей наземной инфраструктуре (аэродромы с посадочной полосой, курсо-глиссадное и другое посадочное оборудование), что существенно ограничивает допустимые условия, гибкость и оперативность применения БЛА.

Основным недостатком парашютного способа является низкая точность приземления, вследствие чего для его реализации может потребоваться посадочная площадка больших размеров (до десятков км² и более), свободная от мешающих объектов, столкновение с которыми может привести к потере БЛА. Дополнительные затраты времени на поиск БЛА на значительной по площади территории и последующую эвакуацию БЛА в район старта обуславливают низкую оперативность повторного применения БЛА. Необходимость проведения поиска и эвакуации БЛА требует привлечения дополнительной техники (транспорта), что снижает степень автономности способа. Кроме того, высока вероятность повреждения БЛА, что резко снижает кратность его применения. Общая масса агрегатов парашютной системы посадки БЛА может достигать 12-15 %. По другим источникам [2], масса только одного парашюта (без амортизирующих устройств), обеспечивающего безопасную скорость приземления (порядка 4 м/с), может достигать 26% от массы БЛА. Это значительно ограничивает запас по массе на целевую нагрузку или на топливо (для увеличения дальности или продолжительности полета).

Различные варианты схем посадки в улавливающее устройство отличаются видом (конструкцией) последнего. Наиболее известными являются схемы с использованием аэрофинишера [1], схемы посадки с захватом в улавливающие устройства в виде вертикальных и горизонтальных тросов, штанг, сетей [1,3,4]. Основным ограничивающим фактором при выборе такой схемы посадки является масса БЛА, которая, как правило, не должна превышать 100-120 кг, за исключением случая посадки с использованием аэрофинишера. При этом с уменьшением массы БЛА растет многообразие схем посадки и конструкций улавливающего устройства вплоть до «экзотических» вариантов [5,6].

Наиболее типичным и реализованным на практике способом, использующим улавливающее устройство, является посадка с захватом в вертикальную сеть. Рас-

смотрим пример реализации этого способа посадки в беспилотном комплексе «Аквила» [1]. Способ состоит в том, что формируют узкую секторную зону захода БЛА на посадку и задают опорную траекторию посадки, для чего в заданном месте посадки на конструкции крепления улавливающей вертикальной сети устанавливают две инфракрасных камеры, поля зрения которых задают узкую секторную зону захода БЛА на посадку в боковой и вертикальной плоскостях, а оптические оси – опорную траекторию посадки БЛА. Наземной станцией управления осуществляется радиолокационное сопровождение БЛА по дальности и угловым координатам. По данным радиолокационного сопровождения формируются команды управления для ввода БЛА в узкую секторную зону захода на посадку. Эти команды передаются по радиолинии на борт БЛА и обрабатываются бортовой системой управления. По излучению бортового инфракрасного источника с помощью инфракрасных камер определяются боковое и вертикальное угловые отклонения БЛА от опорной траектории посадки. Эти отклонения передаются по радиолинии на борт БЛА и используются бортовой системой управления для удержания БЛА на опорной траектории посадки до попадания в улавливающую сеть.

Основным недостатком способа посадки в вертикальную сеть является его низкая автономность, обусловленная тем, что значительная часть действий выполняется на земле с использованием соответствующего наземного оборудования. Кроме того, он не обеспечивает всеракурсный заход БЛА на посадку и всепогодное осуществление посадки, что обусловлено формированием узких секторных зон захода БЛА на посадку и использованием в посадочном оборудовании инфракрасного диапазона длин волн. Для выполнения посадки требуется открытая, свободная от мешающих объектов, значительная по размерам площадка (радиусом не менее 200...250 м).

Для увеличения автономности выполнения посадки БЛА, обеспечения всеракурсности захода на посадку, всепогодности осуществления посадки, уменьшения размеров посадочной площадки до единиц метров в поперечнике, предложен способ точной посадки малоразмерного БЛА в горизонтальную улавливающую сеть [7]. Способ состоит в следующем. Для формирования круговой зоны захода на посадку в заданной точке посадки устанавливают изотропный источник радиоионизации (радиомаяк), а на борту БЛА устанавливают радиопеленгатор. С помощью штатного бортового навигационного оборудования выполняется автономный ввод БЛА в зону захода на посадку. Бортовой радиопеленгатор принимает сигналы радиомаяка и выполняет его угловое сопровождение в горизонтальной и вертикальной плоскостях. По данным радиопеленгатора в бортовой системе управления формируются команды самонаведения БЛА на радиомаяк в горизонтальной плоскости. Одновременно с самонаведением БЛА на радиомаяк в горизонтальной плоскости выполняется его полет на заданной высоте до достижения заданного угла визирования радиомаяка в вертикальной плоскости. Затем БЛА переводится в пикирование и выполняется его самонаведение на радиомаяк в вертикальной и горизон-

тальной плоскостях до попадания в улавливающую сеть, установленную горизонтально над радиомаяком.

На рисунке 1 представлена схема реализации предлагаемого способа точной посадки малоразмерного БЛА.

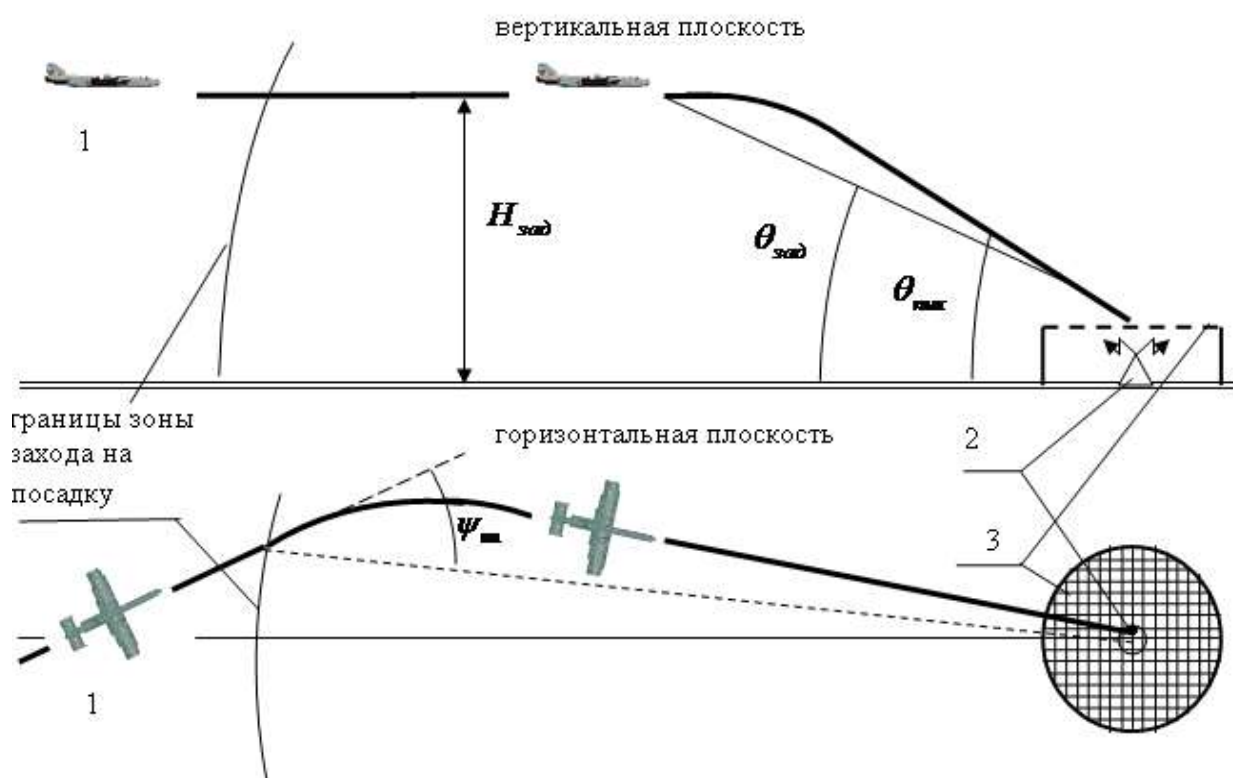


Рисунок 1 – Схема реализации способа точной посадки малоразмерного БЛА в горизонтальную сеть: 1 – БЛА со штатным бортовым навигационным оборудованием, бортовой системой управления и бортовым радиопеленгатором; 2 – изотропный радиомаяк, устанавливаемый в заданной точке посадки; 3 – горизонтальная улавливающая сеть

Для реализации способа точной посадки БЛА необходима разработка бортового радиопеленгатора, наземного радиомаяка и улавливающего устройства (сети). Предварительные расчеты подтвердили возможность создания радиопеленгатора фазового типа [8] для открытого диапазона частот 2,42-2,44 ГГц с массогабаритными характеристиками, приемлемыми для установки на борт малоразмерного БЛА (масса порядка сотен граммов, размеры порядка единиц-десятков сантиметров) и достаточной точностью пеленгации (не хуже 1 градуса).

Проведем количественную оценку точности посадки БЛА предложенным способом. Для этого воспользуемся формулами для дисперсий составляющих конечной ошибки самонаведения (промаха) БЛА при посадке в улавливающую сеть [9], полученные в предположении, что самонаведение БЛА на радиомаяк выполняется методом пропорциональной навигации:

$$\sigma_{\Delta\varepsilon}^2 = \frac{(\sigma_\varepsilon NVT)^2}{a_0(N+1)} \cdot \frac{l_\varepsilon \cdot \sum_{j=0}^{N-1} a_{\varepsilon j}(N) \cdot l_\varepsilon^j}{(1+l_\varepsilon)^{N+1}}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\Delta\delta}^2 = \frac{(\sigma_\delta T)^2}{a_0(N)} \cdot \frac{l_\delta \cdot \sum_{j=0}^{N-2} a_{\delta j}(N) \cdot l_\delta^j}{(1+l_\delta)^N}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\Delta\varepsilon}^2$ – дисперсия составляющей промаха БЛА, обусловленной ошибками бортового радиопеленгатора; $\sigma_{\Delta\delta}^2$ – дисперсия составляющей промаха БЛА, обусловленной воздействием случайных порывов бокового ветра; σ_ε – среднеквадратическая ошибка бортового радиопеленгатора; σ_δ – среднеквадратическое значение скорости случайных порывов бокового ветра; N – навигационная постоянная; V – скорость БЛА; T – эквивалентная постоянная времени бортовой системы управления БЛА; T_ε – время корреляции случайных ошибок радиопеленгатора; $l_\varepsilon = \frac{T_\varepsilon}{T}$; T_δ – время корреляции случайных порывов бокового ветра; $l_\delta = \frac{T_\delta}{T}$; $a_0(N)$, $a_{\xi ij}(N)$ – полиномиальные коэффициенты.

Расчеты проведем при следующих исходных данных: $\sigma_\varepsilon = 1,0$ град; $\sigma_\delta = 1,0$ м/с; $N = 3$; $V = 50$ м/с; $T = 1,1$ с; $T_\varepsilon = 0,1$ с; $T_\delta = 1,0$ с; угол пикирования БЛА при посадке $\theta_{\text{пик}} = 30$ град. Значения полиномиальных коэффициентов, приведенные в [9], равны: $a_0(3) = 8$; $a_0(4) = 16$; $a_{\varepsilon 0}(3) = 1$; $a_{\varepsilon 1}(3) = 4$; $a_{\varepsilon 2}(3) = 1$; $a_{\varepsilon 0}(3) = 3$; $a_{\varepsilon 1}(3) = 1$.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Результаты расчетов точности посадки БЛА в горизонтальную сеть по сигналам радиомаяка (среднеквадратические значения промаха в боковой и продольной плоскостях)

Плоскость наведения	Среднеквадратические значения промаха, м		
	обусловленного ошибками радиопеленгатора	обусловленного случайными порывами ветра	суммарного
Боковая	0,25	0,28	0,38
Продольная	0,5	0,56	0,75

Определим требуемые размеры улавливающей горизонтальной сети, исходя из необходимости обеспечения всеракурсности захода на посадку и практически достоверного попадания БЛА в сеть. Для обеспечения всеракурсности сеть должна иметь форму круга, радиус которого, в целях получения гарантированного резуль-

тата, определим максимальным среднеквадратическим значением суммарного промаха БЛА, т.е. значением $\sigma_{\Delta \text{ прод}} = 0,75$ м, и требуемой вероятностью попадания

в сеть. Полагая закон рассеивания точек приземления БЛА гауссовым и круговым, запишем вероятность P попадания БЛА в сеть радиусом R в виде:

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma_{\Delta \text{ прод}}^2}\right) \quad (3)$$

Задаваясь вероятностью $P = 0,96$ (по правилу двух сигма), в соответствии с (3) получим:

$$R = \sigma_{\Delta \text{ прод}} \sqrt{-2\ln(1-P)} = 0,75 \cdot 2,54 = 1,9 \text{ м.}$$

Следовательно, для практически достоверного попадания БЛА в горизонтальную сеть в форме круга, ее диаметр должен составлять 3,8 м плюс максимальный размер БЛА (длина фюзеляжа или размах крыльев). Можно использовать сеть в форме квадрата со стороной, равной диаметру круга.

Таким образом, предлагаемый способ точной посадки БЛА обеспечивает его попадание в улавливающую сеть малых размеров в автоматическом автономном режиме при минимуме используемого наземного оборудования, включающего изотропный радиомаяк и горизонтальную улавливающую сеть. Способ обеспечивает произвольный ракурс захода БЛА на посадку, в простых и сложных метеоусловиях, при использовании для посадки малой площадки не более единиц метров в поперечнике. При этом гарантируются низкая вероятность повреждения БЛА за счет амортизирующих и гасящих свойств улавливающего устройства и, соответственно, высокая кратность применения БЛА. Экономия массы в 12-15% и более (до 26%) позволит увеличить дальность, продолжительность полета, расширить круг решаемых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы адаптивного управления летательными аппаратами. / А.С. Новоселов, В.Е. Болнокин, П.И. Чинаев, А.Н. Юрьев. - М. Машиностроение, 1987. 280 с.
2. Лобанов Н.А. Основы расчета и конструирования парашютов. – М.: Машиностроение, 1965. 362 с.
3. Овинов А.В. Способы взлета и посадки летательных аппаратов и взлетно-посадочная система для осуществления этих способов. Патент РФ № 2466913, 2010.
4. Николаев Р.П., Григорьев Д.В., Весельев А.В. и др. Способ посадки летательного аппарата. Патент РФ № 2208555, 2001.
5. Шептовецкий А.Ю. Способ посадки беспилотного летательного аппарата. Патент РФ № 2278060, 2005.

6. Шептовецкий А.Ю. Способ посадки сверхлегкого беспилотного летательного аппарата. Патент РФ № 2307047, 2006.
7. Агеев А.М., Волобуев М.Ф., Михайленко С.Б. и др. Способ точной посадки беспилотного летательного аппарата. Патент РФ № 2539703, 2013.
8. Денисов В.П., Дубинин Д.В. Фазовые радиопеленгаторы. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2002, 251 с.
9. Волобуев М.Ф., Замыслов М.А, Михайленко С.Б., Орлов С.В. Методика оценки точности автоматической системы посадки самолета в условиях воздействия случайных возмущений // Сборник докладов XII МНТК «К и ВТ XXI века», том 2. Воронеж, НПФ «САКВОЕЕ», 2011. 878 с.

П.Е. КУЛЕШОВ, кандидат технических наук,
профессор, начальник отдела ВУНЦ ВВС «ВВА»
А.В. АЛАБОВСКИЙ кандидат технических наук,
старший научный сотрудник ВУНЦ ВВС «ВВА»
В.В. СТОЯКИН, оператор научной роты ВУНЦ
ВВС «ВВА»
Ф.А. ГОСТЕВ оператор научной роты ВУНЦ ВВС
«ВВА»

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРНЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПРОТИВНИКА

Известно, что эффективное огневое или оптико-электронное поражение оптико-электронных средств (ОЭС) и их носителей невозможно без соответствующего информационного обеспечения, то есть средств разведки, позволяющих находить ОЭС и измерять их местоположение (координаты).

Для решения этой задачи в настоящее время в ряде технически развитых государств созданы перевозимые (переносимые) лазерно-локационные системы разведки (локаторы) ОЭС, внешний вид которых приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид отечественной («Зарница»): а) и зарубежной (SLD 500); б) лазерно-локационной системы разведки (локаторов) ОЭС

В тоже время специфика процесса локации ОЭС, заключается в том, что: отраженное от ОЭС излучение формируется за счет фокусировки объективом падающего на ОЭС излучения на поверхность элемента, находящуюся в фокально плоскости объектива, отражения этой поверхностью падающего на неё излучения в направлении объектива, преобразования объективом расходящегося пучка в почти параллельный пучок, который далее распространяется в направлении на источник;

пассивные ОЭС при их подсвете наблюдаются как малоразмерные объекты с высоким блеском;

ОЭС может быть обнаружено локатором только при условии нахождения локатора в поле зрения этого ОЭС;

современные ОЭС наблюдения, разведки, прицеливания и наведения высокоточного оружия (ВТО) обладают относительно малыми полями зрения (от 4 до 12 градусов);

ОЭС разведки, прицеливания и наведения ВТО осуществляют сканирование своим полем зрения независимо друг от друга в выделенной для поиска целей зоне, шириной 200-300 м.

В качестве примера на рисунке 2 приведены изображения местности в полях зрения снайперских прицелов ПСО-1, ПСО-2 и ПСО-3 на дальности 850 м.

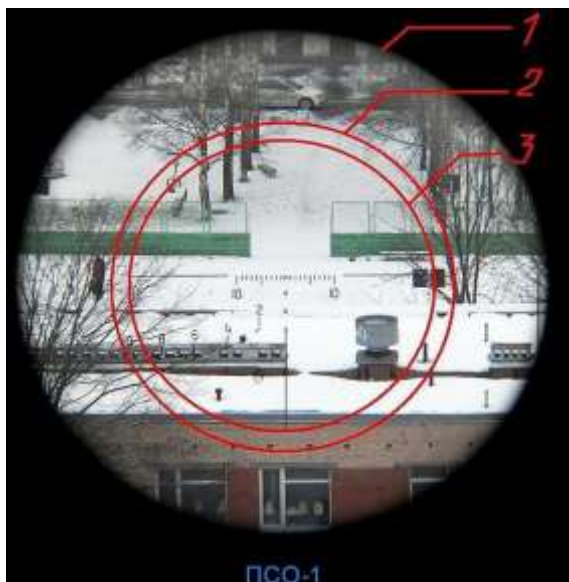


Рисунок 2 – Изображения местности в полях зрения снайперских прицелов ПСО-1 (1), ПСО-2 (2), ПСО-3 (3) на дальности 850 м

Перечисленные особенности приводят к необходимости размещения вдоль зоны боевого соприкосновения большого количества локаторов (порядка 5 и более на 1 километр фронта), ожидающих, когда на них «посмотрит» очередное ОЭС. В качестве примера на рисунке 3 приведен вариант расположения на местности локаторов ОЭС, самих ОЭС, их полей зрения и зон сканирования каждым ОЭС своим полем зрения.

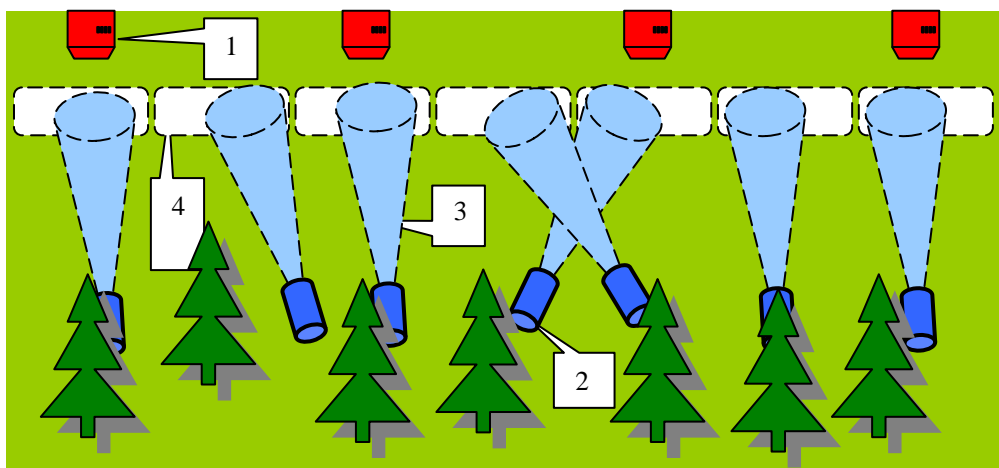


Рисунок 3 – Вариант расположения на местности локаторов ОЭС (1), самих ОЭС (2), их полей зрения (3) и зон сканирования каждым ОЭС своим полем зрения (4)

Является очевидным, что поскольку локаторы устанавливаются в условиях прямой видимости объектов вооружения противника, они и обслуживающие их операторы с большой вероятностью будут подвергаться огневому воздействию со стороны противника.

Проведенный анализ показал, что одним из способов решения этой проблемы является перемещение локатора вдоль зоны поиска ОЭС на незаметном для противника мобильном носителе и передача информации о результатах поиска на удаленный от линии боевого соприкосновения наземный пункт управления носителем.

Проведенные оценки также показали, что наиболее рациональным типом такого носителя локатора ОЭС будет являться мультикоптер. В качестве примера на рисунке 4 приведен вариант расположения на местности ОЭС, их полей зрения, зон сканирования каждым ОЭС своим полем зрения, а также траектории полета мультикоптера – носителя локатора ОЭС. Переносимый мультикоптером локатор будет последовательно попадать в поле зрения всех подлежащих обнаружению ОЭС.

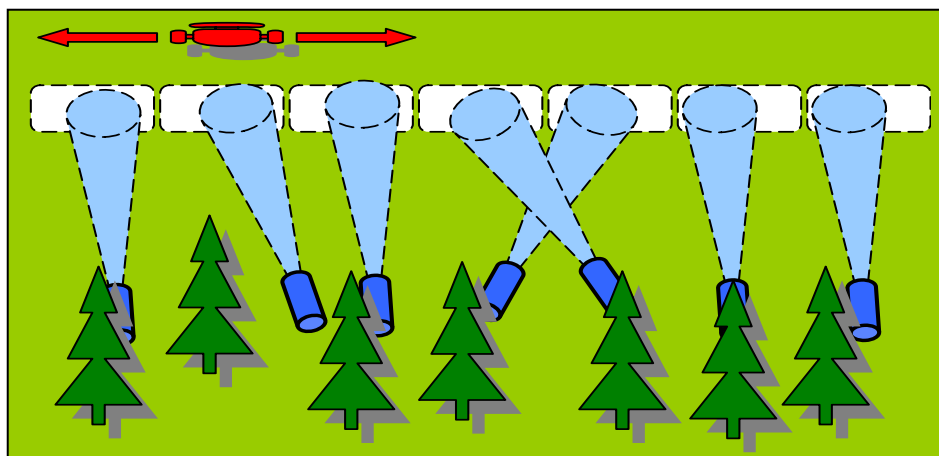


Рисунок 4 – Вариант расположения на местности ОЭС, их полей зрения, зон сканирования каждым ОЭС своим полем зрения, а также мультикоптера – носителя локатора ОЭС

В рассматриваемом случае, в состав мультикоптера должны входить: рама, моторы, регуляторы скорости, пропеллеры, батареи питания бортового оборудования, радиоприемник сигналов с наземного пульта управления, аппаратура обеспечения полета, контроля и управления им (курсовая видеокамера и передатчик поступающего с неё изображения на наземный пункт управления, полетный контроллер, который обеспечивает стабилизацию положения мультикоптера в пространстве и полет по заданной траектории, электронный компас), а также непосредственно локатор ОЭС. Однако принципы построения, габариты, веса и энергопотребление существующих образцов локаторов ОЭС практически исключают их размещение на мультикоптерах. Данный факт объясняется следующими причинами:

операции по обнаружению ОЭС в зоне поиска осуществляются оператором визуально на экране монитора локатора;

в качестве источников зондирующего облучения зон предполагаемого расположения ОЭС используются мощные импульсные лазеры, обладающие КПД менее 1%;

для обнаружения и регистрации отраженного от ОЭС зондирующего излучения используется одноэлементное фотоприемное устройство (ФПУ), оптическая ось которого параллельна оптической оси излучателя;

для сканирования узкими пучком лазера и полем зрения ФПУ в заданной зоне поиска, а также определения направления на ОЭС, используется зеркальная оптико-механическая система развертки, обеспечивающая получение достаточно плотного поля линий сканирования, дабы не пропустить объектив искомого оптического прибора.

С целью устранения причин, исключających возможность размещения оптических локаторов на мультикоптерах, была предложена новая концепция построения локаторов ОЭС, касающаяся состава используемого для обнаружения ОЭС оборудования и алгоритмов её функционирования, которая излагается ниже.

Предложенная концепция размещения средства активной оптической локации ОЭС на мультикоптере позволяет получить новый технический результат - исключается угроза огневого поражения личного состава, участвующего в установке локатора на местности, в поиске и определении координат ОЭС противника локаторами, а также в три – четыре раза сокращается число локаторов и время обнаружения ОЭС, при одновременном повышении вероятности обнаружения и определения координат сканирующих своим узким полем зрения ОЭС на поле боя.

Возможность размещения средства активной оптической локации на мультикоптере технически реализуется за счет:

использования в качестве фотоприемного устройства матричного фотоприемного устройства, а в качестве источника зондирующего излучения импульсной лампы вспышки, моменты генерации импульсного зондирующего излучения которой синхронизированы с моментами формирования фотоприемным устройством сигнала изображения (СИ), которые, во-первых, снижают энергопотребление, а во-

вторых, исключают необходимость наличия на борту тяжелой и громоздкой зеркальной оптико-механической системы развертки;

сокращения дальности локации в 4-5 раз (с 2 – 3 км до 400 – 500 м) за счет полета мультикоптера вблизи ОЭС, а значит и требуемой мощности зондирующего излучения не менее чем на два порядка.

Повышение вероятности обнаружения и определения координат сканирующих своим полем зрения ОЭС обеспечивается за счет использования новых алгоритмов обработки поступающей на наземный пункт информации путем:

последовательного периодического пошагового получения изображений зон предполагаемого расположения ОЭС из заданных участков траектории полета мультикоптера вдоль линии боевого соприкосновения при наличии и отсутствии их подсвета зондирующим излучением;

передачи текущего изображения с выхода локатора по каналу радиосвязи на наземный пункт управления;

последовательной обработки на наземном пункте управления поступающего с камеры текущего изображения путем:

формирования текущего разностного изображения, пропорционального разности интенсивностей отраженного излучения в n -м шаге облучения зоны предполагаемого расположения оптических и оптико-электронных приборов зондирующим излучением в угловом поле зрения видеокамеры и интенсивностей излучения в n -м шаге формирования сигнала, пропорционального интенсивности принимаемого излучения этой же зоны предполагаемого расположения оптических и оптико-электронных приборов в угловом поле видеокамеры без её облучения зондирующим излучением;

получения текущей двумерной корреляционной функции путем совместной корреляционной обработки текущего разностного и эталонного изображения, представляющего собой изображение одного блика от ОЭС на равномерном темном фоне в его центре;

принятия решения о наличии или отсутствии в текущем изображении зоны поиска ОЭС по наличию или отсутствию максимумов корреляционной функции, значение которых превышает заданный порог;

определения текущих значений координат бликующих ОЭС на изображении путем программной обработки текущей двумерной корреляционной функции;

повторения операций по пунктам а) -г) для каждой следующей текущей пары изображений.

На рисунке 5 приведена схема последовательных операций с изображениями для обнаружения и определения текущих значений координат бликующих ОЭС на них.

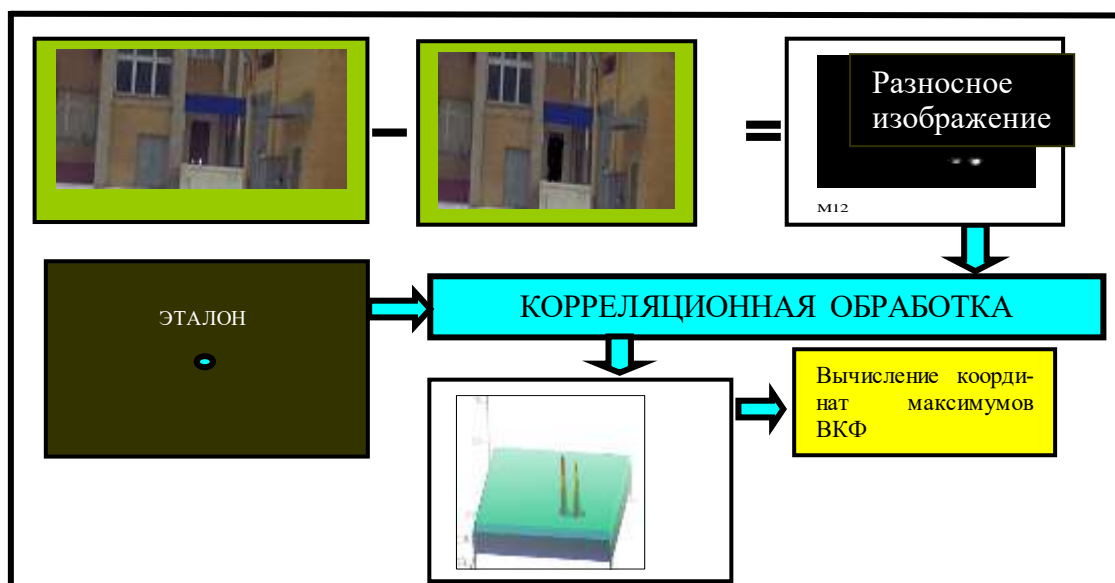


Рисунок 5 – Схема последовательных операций с изображениями для обнаружения и определения текущих значений координат бликующих ОЭС на них

Определение текущих пространственных координат обнаруженных ОЭС производится по значениям координат ОЭС в поле зрения камеры, с учетом данных о положении оптической оси камеры относительно строительной оси мультикоптера, а также положении строительной оси мультикоптера относительно из магнитных полюсов Земли.

В заключение необходимо отметить следующее. В некоторых случаях необходима информация только о наличии и положении ОЭС в просматриваемой зоне с помощью упрощенного варианта исполнения локатора на мультикоптере, состоящего только из видеокамеры, передатчика изображения оператору и непрерывного источника излучения. Внешний вид действующего макета такого мультикоптера приведен на рисунке 6.

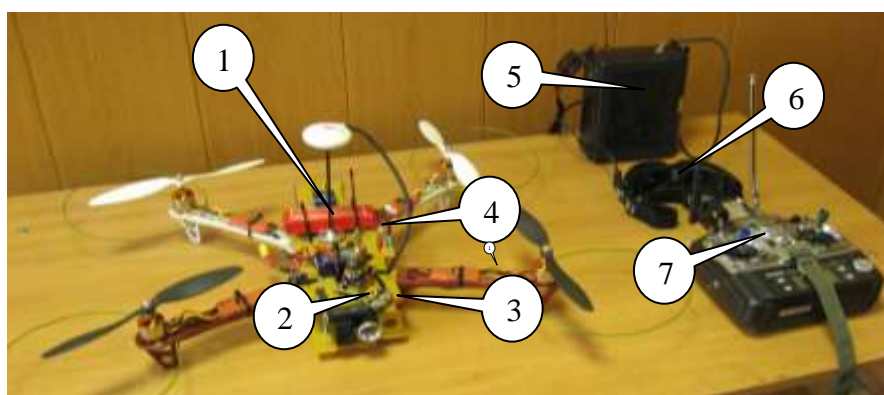


Рисунок 6 – Внешний вид действующего макета упрощенного варианта мультикоптера для обнаружения ОЭС: 1 – мультикоптер, 2 – видеокамера, 3 – некогерентный источник, 4 – передатчик видеоизображения, 5 – приемник видеоизображения, 6 – видео очки, 7 – пульт управления мультикоптером

Ю.И. САВИНОВ, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (развития радиолокационного вооружения войск ПВО Сухопутных войск) НИЦ ВА В ПВО ВС РФ

С.М. СЕМЧЕНКОВ кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела (развития радиолокационного вооружения войск ПВО Сухопутных войск) НИЦ ВА В ПВО ВС РФ

Д.А. ВАСИЛЬЕВ заместитель начальника отдела (развития зенитного вооружения и АСУ войск ПВО Сухопутных войск) НИЦ ВА В ПВО ВС РФ

Е.А. АЛЕШАНОВ адъюнкт очной штатной адъюнктуры ВА В ПВО ВС РФ

О.А. ДАВИДЕНКО научный сотрудник научно-исследовательского отдела (развития радиолокационного вооружения войск ПВО Сухопутных войск) НИЦ ВА В ПВО ВС РФ

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПО ПЕЛЕНГАЦИИ МИНИ И МИКРО-БЛА КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЬЦЕВОЙ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Одна из наиболее важных проблем при организации противодействия применению мини- и микро-БЛА заключается в обеспечении их своевременного обнаружения и контроля за их действиями в процессе выполнения задач. Мини- и микро-БЛА как объекты разведки характеризуются весьма низкими показателями заметности для различных видов разведки. Для радиолокационной разведки мини-БЛА и особенно микро-БЛА являются малозаметными целями из-за малой ЭПР с $0,01-0,1 \text{ м}^2$, своевременное обнаружение которых обеспечивается на крайне малой дальности либо вообще не обеспечивается [1].

Радиолокационная заметность – не единственный демаскирующий признак мини- и микро-БЛА. Среди других признаков наиболее значимым является наличие собственного электромагнитного излучения их аппаратуры связи, посредством которой организуется канал передачи разведанных на пункт управления полетом БЛА и другим потребителям. Так как добываемая информация доводится до потребителей в реальном масштабе времени, этот признак наиболее существенен и является принципиально не устранимым, что позволяет рассчитывать на возможность разведки мини- и микро-БЛА пассивными средствами радиоконтроля. Однако в том случае, если для передачи данных используется скрытая СШП-линия связи с полосой частот порядка 1 ГГц, для устойчивой связи достаточно, чтобы передающая аппаратура БЛА обеспечивала на приемной стороне линии связи входное от-

ношение сигнал-шум всего -25 дБ. Сигналы со столь низкой спектральной плотностью не регистрируются существующими средствами радиотехнической разведки, воспринимая их, как незначительное повышение фонового шума.

Существует возможность регистрировать СШП сигналы, основываясь на свойствах осевой симметрии кольцевых антенных решеток, когда распределение поля падающей электромагнитной волны по элементам решетки с обеих сторон от оси симметрии, совпадающей с направлением распространения волны, с точностью до шума совпадает. Корреляционная обработка осесимметричных распределений поля в кольцевой антенной решетке позволяет оценивать пеленг на источники СШП-сигналов, в том числе располагаемые на борту мини- и микро-БЛА [2,3]. Остается неясным вопрос о применимости этого подхода для определения факта ведения радиообмена по СШП-линии связи.

Исходя из этого, целью статьи является оценка возможностей по пеленгации мини- и микро-БЛА с использованием СШП-пеленгатора на базе кольцевой цифровой антенной решетки.

Решение задачи разведки и пеленгации мини- и микро-БЛА базируется на возможности накопления сигнала в процессе обработки, повышая тем самым отношение сигнал-шум на выходе пеленгатора до уровня, достаточного для принятия решения о наличии сигнала с заданным качеством.

При корреляционной обработке выходной сигнал пеленгатора при приеме СШП-сигнала шумоподобной структуры представляет собой нормально распределенную величину с математическим ожиданием, являющейся несмещенной оценкой корреляционного момента входных величин, и дисперсией, уменьшающейся пропорционально количеству накапливаемых независимых отсчетов сигнала. Основываясь на этом свойстве можно получить оценки необходимого времени накопления сигнала для обеспечения обнаружения сигнала с заданным качеством.

Требуемое количество накапливаемых отсчетов сигнала, обеспечивающее обнаружение СШП-сигнала с заданными показателями качества, зависит от отношения сигнал-шум $q_{вх}^2$ на входе приемных устройств пеленгатора и может быть оценено как

$$T = \frac{4}{N} \left(\frac{\Phi^{-1}(P_D) + \Phi^{-1}(P_F)}{q_{вх}^2} \right)^2 = \frac{4}{N} \left(\frac{q_{мп}^2}{q_{вх}^2} \right)^2,$$

$$\Phi(x) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$$

где $\int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$ – интеграл вероятностей, P_F – вероятность ложной тревогой, P_D – вероятность правильного обнаружения, N – количество антенно-приемных устройств в кольцевой решетке, T – количество независимых отсчетов принятого сигнала, $q_{мп}^2$ – заданное отношение сигнал шум, обеспечивающее обнаружение СШП сигнала с заданными показателями качества.

Из этого соотношения следует, что сколь бы слабым ни было входное отношение сигнал-шум на входе приемников пеленгатора, построенного на базе кольцевой антенной решетки, при достаточном времени накопления можно обеспечить обнаружение СШП-сигнала с заданным качеством.

Вопрос о достаточности времени для накопления сигнала зависит от требуемого темпа обновления информации, режима работы линии связи, стабильности работы аппаратуры пеленгатора и ряда других технических и тактических факторов. При некотором фиксированном интервале накопления t_n возможности по пеленгации мини- и микро-БЛА, использующих для передачи данных скрытую СШП-линию связи, ограничиваются соотношением дальностей от БЛА до своего пункта управления и до точки размещения пеленгатора. Это соотношение определяется из выражения:

$$\frac{R_{\text{БЛА-ПУ}}}{R_{\text{БЛА-КАР}}} = \sqrt{2 \frac{q_{\text{mp}}^2}{q_{\text{св}}^2} \frac{G_{\text{ПУ}}}{G_{\text{АЭ}}} \sqrt{\frac{\Delta t}{t_n N}} f^2(\alpha)}$$

где $R_{\text{БЛА-ПУ}}$, $R_{\text{БЛА-КАР}}$ – дальности от БЛА до пункта управления полетом и до точки размещения пеленгатора, q_{mp}^2 – требуемое для обнаружения цели отношение сигнал-шум на выходе пеленгационного канала, $q_{\text{св}}^2$ – отношение сигнал-шум на приемной стороне канала связи, $G_{\text{АЭ}}$, $G_{\text{ПУ}}$ – коэффициенты направленного действия антенных элементов кольцевой антенной решетки и антенной системы на приемном конце СШП-линии связи БЛА-ПУ, $f^2(\alpha)$ – значение характеристики направленности антенны линии связи, размещенной на борту БЛА, Δt – интервал снятия отсчетов в приемника пеленгатора. Именно это соотношение в значительной степени характеризует параметры контролируемой зоны пеленгатора СШП-сигналов.

Были оценены возможности по обнаружению пеленгатора СШП-сигнала на базе кольцевой антенной решетки для обнаружения мини- и микро-БЛА типа RQ-11 и RQ-7, использующих для передачи данных скрытую СШП-линию связи.

Ситуация №1. Микро-БЛА типа RQ-11 совершает полет в зоне поиска. Размеры зоны составляют 8×8 км по фронту и в глубину. Полет совершается на высоте 300 м. Максимальное удаление от пункта управления полетом составляет 10 км. Пункт управления БЛА находится за пределами зоны поиска на удалении до 2 км. Аппаратура передачи данных на борту микро-БЛА нагружена на ненаправленную в азимутальной плоскости антенну, обеспечивающую одинаковые условия приема и передачи независимо от ориентации планера. Мощность передатчика адаптируется к дальности связи, обеспечивая на пункте приема постоянное отношение сигнал-шум -25 дБ. Ширина спектра сигнала в линии связи – 1 ГГц. На пункте управления БЛА СШП-линия связи имеет направленную антенну с шириной диаграммы направленности по азимуту и углу места 60° (коэффициент направленного действия 10 дБ), что обеспечивает связь с БЛА, барражирующим в пределах зоны поиска. Пеленгатор СШП-сигнала на базе 60-ти канальной кольцевой антенной решетки размещен в точке, располагающейся в двух километрах от тыловой границы зоны поиска микро-БЛА.

Результаты оценки зоны, в которой обеспечивается обнаружение микро-БЛА по собственному излучению аппаратуры СШП-линии связи представлена на рисунке 1. На рисунке точечными линиями обозначены границы контролируемой зоны пеленгатора СШП-сигнала при различных временах накопления сигнала. Зона контроля располагается справа от граничной линии, в центре которой находится пеленгатор. Из анализа рисунка 1 видно, что при увеличении времени накопления сигнала граница зоны приближается к пункту управления БЛА, охватывая его с двух сторон. При недостаточном времени накопления контролируемая зона уменьшается, сокращаясь в пределе к небольшой полусфере непосредственно вокруг пеленгатора. Наиболее рациональным вариантом для ситуации №1 является выбор времени накопления равным или большим 1 мс. Этот случай обозначен линией с крупными точками. Границы контролируемых зон были получены для вероятности правильного обнаружения 0,5 при вероятности ложной тревоги 10^{-6} . Для обеспечения большей вероятности обнаружения целей при тех же границах требуется увеличить время накопления сигнала. Так, для увеличения вероятности обнаружения до 0,9 время накопления требуется увеличить на 60%.

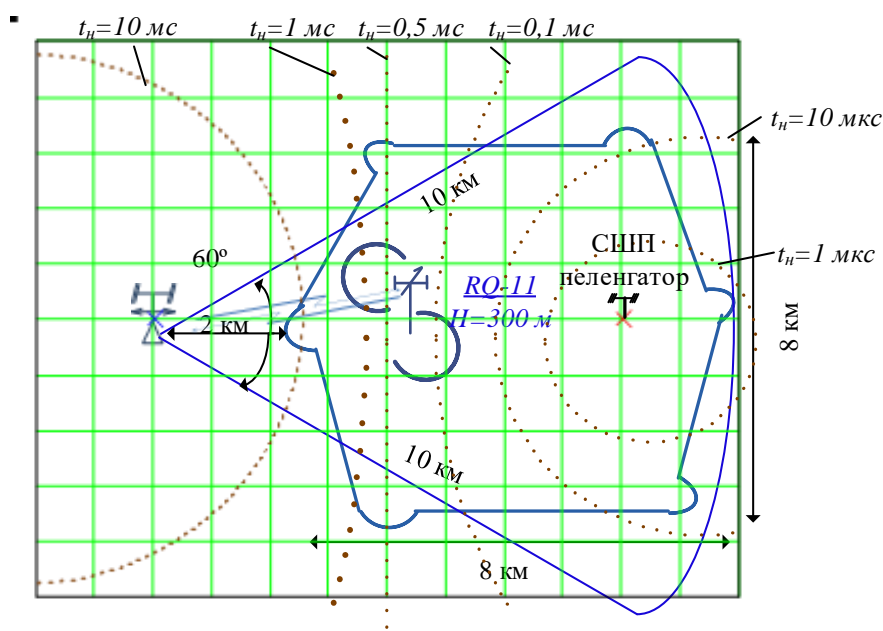


Рисунок 1 – Зоны контроля пеленгатора СШП-сигналов для ситуации №1

Ситуация №2. Мини-БЛА типа RQ-7 совершает полет в зоне поиска с размерами зоны 15×25 км по фронту и в глубину. Полет совершается на высоте 500 м. Максимальное удаление от пункта управления полетом составляет 70 км. Пункт управления БЛА находится за пределами зоны поиска на удалении до 40 км. Аппаратура передачи данных ПУ мини-БЛА нагружена на управляемую антенну, имеющую главный лепесток шириной до 40° (коэффициент направленного действия 13 дБ) и боковые на уровне -15 дБ от главного. На борту БЛА СШП-линия связи имеет направленную антенну с кардиоидной диаграммой направленности шириной по азимуту и углу места, ориентированную на пункт управления в процессе полета и обеспечивающую заданные условия приема и передачи, что обеспечивает связь с

БЛА, барражирующим в пределах зоны поиска. Пеленгатор СШП-сигнала на базе 60-ти канальной кольцевой антенной решетки размещен на удалении 30 км от пункта управления полетом БЛА.

Результаты оценки зоны, в которой обеспечивается обнаружение микро-БЛА по собственному излучению аппаратуры СШП-линии связи представлена на рисунке 2. Так же, как и в предыдущем случае, точечными линиями на рисунке обозначены границы контролируемой зоны пеленгатора СШП-сигнала при различных временах накопления сигнала.

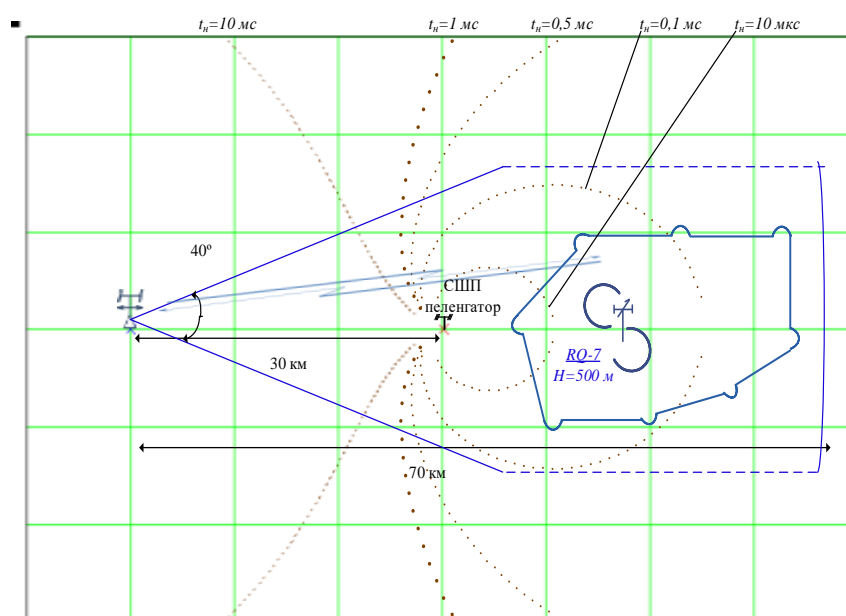


Рисунок 2 – Зоны контроля пеленгатора СШП-сигналов для ситуации №2

Можно отметить, что конфигурация зоны контроля пеленгатора в ситуации №2 существенно отличается от предыдущего случая. Ближняя граница зоны располагается вблизи позиции СШП-пеленгатора, а сама граница имеет глубокий провал по линии, соединяющей пункт управления БЛА и пеленгатор. Эта особенность объясняется наличием направленности у антенны СШП-линии связи, располагаемой на борту БЛА. Направленные характеристики антенны связи характеризуются минимальным значением в направлении, противоположном направлению радиообмена. Поэтому при пролете БЛА между своим пунктом управления и пеленгатором, антенна линии связи БЛА будет повернута в сторону пункта управления, а в направлении пеленгатора значение характеристики направленности будет минимальным. Тем не менее, предполагаемая зона патрулирования мини-БЛА будет находиться внутри контролируемой зоны пеленгатора. Из анализа рисунка следует, что при времени накопления сигнала более 1 мс к контролируемой зоне можно отнести всю часть воздушного пространства, находящейся за точкой расположения пеленгатора, с границей, перпендикулярной линии, соединяющей его с пунктом управления БЛА.

Из проведенного анализа следует, что возможности пеленгатора СШП-сигналов на базе кольцевой антенной решетки могут позволить обнаруживать ми-

ни- и микро-БЛА, использующие для передачи данных скрытую СШП-линию связи, при выполнении ими разведывательных задач реального масштаба времени в зонах барражирования. Размеры контролируемой зоны при разведке микро-БЛА перекрывают значительную часть зоны барражирования БЛА, если пеленгатор размещать в границах зоны барражирования. При разведке мини-БЛА, применяющих направленные управляемые антенны на борту для связи БЛА с наземным пунктом управления, контролируемая зона располагается за позицией размещения пеленгатора. Разведка мини-БЛА в передней полусфере пеленгатора при этом не обеспечивается. Размеры и конфигурация контролируемой зоны, в пределах которой обеспечиваются заданные показатели качества обнаружения источника СШП-сигнала, существенно зависит от времени накопления сигнала. Наибольший эффект при обнаружении мини- и микро-БЛА достигается при времени накопления сигнала более 1 мс.

Таким образом, пеленгация мини- и микро-БЛА, применяющих скрытые линии связи, с использованием пеленгатора СШП сигналов на базе кольцевой антенной решетки позволит обеспечить их своевременное обнаружение и контроль за их действиями в процессе выполнения ими своих задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерёмин Г. В., Гаврилов А. Д., Назарчук И. И. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО. [Электронный ресурс]. Режим доступа – <http://otvaga.2004.ru>. Военно-патриотический сайт «Отвага».
2. Васильев Д.А., Савинов Ю.И. «Математическая модель СШП-сигналов, принимаемых элементами кольцевой антенной решетки». Санкт-Петербург Сборник трудов II Всеармейской военно-научной конференции. ВКА имени А.Ф. Можайского. 2015. – Ч. 1. С. 232-236.
3. Васильев Д.А., Савинов Ю.И., Савицкий Ф.Л. Программная модель спецвычислителя устройства пеленгации источников СШП-сигналов на базе кольцевой антенной решётки. Электронная газета «Хроники Объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование», № 11 – 2014. Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2014>.

В.Н. БАБАКОВ,	генеральный	директор
ЗАО «КБ НАВИС»		
О.А. БОРСУК,	начальник	отделения
ЗАО «КБ НАВИС»		
А.Б. МУРАВЬЕВ,	начальник	отделения
ЗАО «КБ НАВИС»		
Г.Э. КНАУЭР,	кандидат технических наук,	
старший научный сотрудник, ведущий инженер		
ЗАО «КБ НАВИС»		

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ БЛА

ЗАО «КБ НАВИС» является одним из ведущих предприятий промышленности по разработке и производству навигационной аппаратуры для Министерства обороны Российской Федерации. Наряду с большим многообразием серийно выпускаемой навигационной аппаратуры для различных потребителей, ЗАО «КБ НАВИС» является практически единственным поставщиком OEM-решений (OEM-модулей) для специальных применений в составе интегрированной аппаратуры потребителя.

В 2014 году предприятием разработан ряд унифицированных навигационных модулей нового поколения, которые обеспечивают прием и обработку как сигналов с частотным разделением, так и перспективных навигационных сигналов с кодовым разделением. Это навигационные модули серии:

«Малек» (4 модификации) – для наземной НАП, прецизионных и геодезических измерений, носимой НАП и БЛА, а также модуль с интегрированной антенной для встраиваемых применений в аппаратуру с повышенными требованиями к массогабаритным характеристикам;

«Горизонт» (2 модификации) – 2-х диапазонный навигационный модуль стандартной и повышенной помехозащищенности для НАП мобильных, морских объектов и авиационных комплексов;

«Темп» (3 модификации) – 2-х диапазонный навигационный модуль и навигационный модуль, интегрированный с МЭМС для аппаратуры системы управления реактивных снарядов и тактических (авиационных) ракет, а также для аппаратуры систем траекторных измерений баллистических ракет.

Помехозащищенный модуль «Горизонт-2» может быть применен в составе пилотажно-навигационного оборудования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) средних и больших размеров. Внешний вид модуля показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид навигационного модуля

Горизонт-2 – 2-х диапазонный помехозащищенный навигационный модуль для НАП мобильных, морских объектов и авиационных комплексов.

Потребляемая мощность 11Вт, количество каналов 96, габаритные размеры 181x100x28 мм. Обеспечивает прием сигналов с открытым и санкционированным доступом с частотным и кодовым разделением диапазонов L1 и L2, СДКМ ГЛОНАСС и сигналов GPS диапазонов L1 C/A-код, L2 CL/CM-код и SBAS.

Предельные (по уровню вероятности 0,95) погрешности определения навигационных параметров составляют:

плановых координат 5 м;

высоты 7,5 м;

составляющих вектора скорости 0,08 м/с.

Для пилотажно-навигационного оборудования малогабаритных БЛА можно использовать навигационные модули «Малек-2», «Малек-3» и «Малек-4».

Малек-2 - малогабаритный одно - диапазонный навигационный модуль для НАП наземной техники и БЛА. Потребляемая мощность- 0,5 Вт, количество каналов – 64. Габаритные размеры - 25,2x25,2x4 мм. Обеспечивает прием сигналов с открытым и санкционированным доступом с частотным и кодовым разделением диапазона L1, СДКМ ГЛОНАСС и сигналов GPS диапазона L1 C/A-код и SBAS.

Предельные погрешности определения навигационных параметров в диапазоне L1 составляют:

плановых координат 5 м;

высоты 7,5 м;

составляющих вектора скорости 0,08 м/с.

Малек-3 - малогабаритный 2-х диапазонный навигационный модуль для носимой НАП и аппаратуры БЛА. Габаритные размеры - 25,2x25,2x4 мм. Внешний вид навигационного модуля приведен на рисунок 2

Обеспечивает прием сигналов с открытым и санкционированным доступом с частотным и кодовым разделением диапазонов L1 и L2, СДКМ ГЛОНАСС.



Рисунок 2 – Внешний вид навигационного модуля

Малек-4 - малогабаритный одно - диапазонный навигационный модуль с интегрированной антенной для аппаратуры БЛА. Габаритные размеры - 25,2x25,2x9 мм.

Для непрерывного, устойчивого управления БЛА и повышения точности определения своих координат в пилотажно-навигационном оборудовании БЛА необходимо применять технологии высокоточного позиционирования. С этой целью можно использовать разработанные в ЗАО «КБ НАВИС» навигационные модули, обеспечивающие относительную навигацию (режим RTK) с дециметровой точностью (10-20 см), что наиболее актуально при движении нескольких БЛА в составе групп, выполнении совместных задач различными разнесенными объектами, осуществлении режимов посадки БЛА на необорудованные площадки. Для реализации режимов RTK необходимо решение системных вопросов с использованием либо специально развернутых в зоне действия БЛА базовых (референцных) станции, либо имеющихся региональных навигационных сетей высокоточного позиционирования гражданского назначения.

В настоящее время ЗАО «КБ НАВИС» поставляет навигационные модули в КБ «Луч» г. Рыбинск (в состав пилотажно-навигационного оборудования БЛА) и Уральский завод Гражданской авиации (модернизация пилотажно-навигационного оборудования БЛА иностранного производства).

Навигационная аппаратура СН-99 ПЗ-01 обеспечивает работоспособность и сохранение технических характеристик при воздействии широкополосных и гармонических помех в полосе приёмного сигнала ГЛОНАСС в диапазоне L1.

Для интегрирования OEM – навигационных модулей в изделия потребителей разработано и поставляется дополнительное оборудование для построения систем под специальные требования Заказчика. Следует отметить, что наряду с положительными моментами, связанными с использованием OEM – продуктов для построения Заказчиком своих навигационных систем (в частности, сокращение сроков и стоимости разработок), существует проблема корректного (в том числе оптимального) использования навигационных модулей и их составных частей .

Предприятием разработано дополнительное оборудование для комплектования перспективных навигационных модулей (см. рисунок3):

антенна многочастотная (АМЧ);

малошумящий усилитель многочастотный (МШУ-МЧ);
модуль навигации (МН) в составе приемника многочастотного (ПМ) и приемника дифференциальных сообщений (ПДС).



а) АМЧ



б) МШУ-МЧ



в) МН



г) ПМ



д) ПДС

Рисунок 3 – Внешний вид составных частей перспективной навигационной аппаратуры

Применение навигационных технологий разработки помехозащищенных малогабаритных навигационных модулей, технологии высокоточного позиционирования, существенно повысит эффективность боевого применения беспилотных летательных аппаратов.

А.Р. БРОВЧЕНКО, заместитель начальника штаба по связи и РТО 924 Государственного центра беспилотной авиации (г. Коломна)

СИСТЕМА СВЯЗИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦЕНТРА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

В 2006 году, когда я в составе отделения связи, приступил к исполнению своих обязанностей схема организации связи на полетах БЛА, тогда ещё «РЕЙС», сводилась к простейшему: ПЕРВОЕ обеспечению связи между КП полка БА и КП на полигоне (РП-РП, РП-планшетист для контроля следования БЛА по маршруту), ВТОРОЕ организации привязки к стационарному УС полигона с помощью РРС Р-409МА для оперативного взаимодействия с вышестоящими штабами, ТРЕТЬЕ организации внутренней проводной связи, и ЧЕТВЕРТОЕ организации резервной радиосвязи с использованием КШМ Р-142.

В последующих 2007 – 2008 годах на совместных учениях стран ШОС «Мирная миссия -2007» и во время Грузино – Осетинского конфликта применялся комплекс «Строй-ПД» с БЛА «Пчела». В этот период мы в первый раз столкнулись с задачей трансляции видеоизображения с камеры (полезной нагрузки) на КП учений.

Как мы её решили? Опять самым простым и банальным способом: проложили 200 метров кабеля РК-75 и подключили его к монитору – это на полигоне Чебаркуль.

Но в горной местности Абхазии этого сделать было уже невозможно. В результате, как и в случае с «РЕЙСОМ» страдала оперативность передачи развединформации. А про обеспечение связи с помощью радиостанции Р-159 на антенну АБВ я даже рассказывать не буду.

Период 2011 – 2013 годов ознаменовался тем, что на снабжение поступил комплекс с БЛА «СЁРЧЕР» а в последствие и его Российский аналог «ФОРПОСТ».

Вот всё в нем казалось лучше: время полета, дальность, качество изображения, помехозащищенность.

НО. Начнем с элементарного:

Первое – розетки под телефоны есть, телефонов нет;

Второе – разъёмы и соединительные фидеры есть, радиостанций нет;

Третье – выход ВИДЕО в формате НЧ есть, средств для передачи этого видео нет;

Четвертое – обслуживающий персонал комплекса(инженеры, техники, пилот, наблюдатель и т.д.) есть, а связи у них нет, кроме реализованной по ОВК с RAPS;

Пятое – средств объективного контроля тоже нет.

Вот и начали думать, как выйти из этой ситуации. В результате появились варианты обеспечения пилота и наблюдателя средствами ГГС, телефонии и радио.

Но самое интересное это передача видео развединформации по цифровым сетям и линиям связи:

Для преобразования низкочастотного видеосигнала в сигнал Ethernet мы применили конверторы AXIS Q-7401 и Beward-1001.

Для передачи изображения на расстояния 1-2 км. были использованы преобразователи сигнала Ethernet по витой паре VC-201A, а для передачи по ОВК – медиаконверторы АТ-МС 102XL.

На средние расстояния 2-10 км. были использованы стандартные точки доступа Wi-Fi WinLink-1000 (скорость передачи в канале до 36Мбит/сек, на частотах 2,4-2,7ГГц), а потом NanoStation М6 (скорость передачи в канале до 54Мбит/сек, на частотах 5,4-5,8ГГц).

К слову сказать, при первом использовании комплекса «ФОРПОСТ» совместно с WinLink-1000 в Моздоке, был развеян скептицизм местного начальника штаба в качестве и скорость предоставления ему видеоинформации в реальном времени. На расстоянии около 3-х километров от НСУ, непосредственно на рабочее место оперативного дежурного было выведено видео с полезной нагрузки.

В это же время появляются ещё несколько комплексов малой дальности, которых объединяют общие недостатки(с моей точки зрения):

отсутствие в составе радиосредств и средств передачи полученного изображения;

предприятия-изготовители не предусматривают ПО для его обработки, а дополнительно его устанавливать не разрешают обосновывая вмешательством в ПАК и снятием с гарантии.

Исключение составляют компании Эникс и СТЦ. Представители Эникс на учениях на Камчатке, а СТЦ чуть ранее предоставили ПО для дистанционного просмотра изображения с БЛА.

2014 год. Разработанный тремя годами ранее, комплекс многофункциональных программно-аппаратных радиосредств «АЗАРТ», в состав которого входит радиостанция Р-187П1, обладающая высокой помехо- и разведзащищенностью, был применен во время Олимпиады в Сочи.

Радиостанция Р-187П1 использовалась не только как индивидуальный терминал радиосвязи, но и как ретранслятор в горной местности. На слайде Вы можете видеть приблизительную компоновку внутри корпуса летательных аппаратов ЛЕЕР-3 и ОРЛАН-10.

В свою очередь Армейские игры 2015 года показали, что использование комплекса с БЛА «ФОРПОСТ» с доработкой «РАДИУС-О» позволяет получать видеоизображение в любой точке работы БЛА без привязки к НСУ.

А мобильный комплект ЗВКС обеспечивает расчеты комплексов «ФОРПОСТ», «ОРЛАН-10» и КП отряда БЛА полноценной засекреченной связью, каналом ПД и IP-телефонии как по каналу спутниковой связи, так и по транспортной сети РТК (или аналогичной).

На полигоне Донгуз в 2015 году в качестве транспортной сети для передачи видеoinформации от различных комплексов, организации IP-телефонной связи с расчетами была применена система широкополосного беспроводного доступа «ДИНА», зарекомендовавшая себя на порядок выше таких систем как «МИКРАН» и «РАДИАН» своей высокоскоростной ПД, помехозащищенностью и разведзащищенностью, а также низким уровнем энергоемкости: В течение 5-ти суток на простом автомобильном аккумуляторе 55Ah система проработала совместно с высокоскоростной камерой.

В настоящее время в войска поставляется мобильная версия системы «ДИНА», позволяющая создавать сети передачи данных и доступа различных уровней и вариантов.

Используемая технология передачи и обработки сигнала в СШБД «ДИНА» была реализована в системе широкополосной радиосвязи «СТЕРХ-40», используемой как радиоканал между НСУ и БЛА.

В состав СШРС «СТЕРХ-40» входят малогабаритные блоки и разнотипные антенны свободно устанавливаемые в корпус летательного аппарата средней дальности.

При полосе пропускания 40МГц на расстоянии в 170 км. был реализован цифровой радиоканал со скоростью до 30Мбит/сек.

Совместно с НТЦ «АТЛАС» проведенные испытания по криптозащите радиолинии показали, что снижение скорости передачи за счет шифрования не сказались на качестве получаемой информации от полезной нагрузки.

Таким образом наука, шагнувшая далеко вперед за крайнее десятилетие дает Вам шанс на внедрение своих разработок в систему связи беспилотной авиации.

Все прекрасно понимают, что связь – это нерв армии. Без качественной связи ни один самый великолепный руководитель и командир не сможет ни получить информацию, ни её довести до подчиненных.

И на основе полученного опыта для себя я вывел формулу, что любой комплекс с БЛА поставляемый в войска должен быть обеспечен предприятием-изготовителем:

ПЕРВОЕ – индивидуальными радиостанциями;

ВТОРОЕ – средствами передачи данных.

А создание командного пункта, в состав которого должны будут включены оборудование для организации сетей передачи данных по проводным и радиоканалам, оборудование преобразования различных видов видеосигнала для передачи по ОВК, ВП, средства обработки и отображения видеoinформации – НАЗРЕВШАЯ РЕАЛЬНОСТЬ.

Из практики существует два пути создания КП отряда БЛА:

мобильный на базе автошасси;

носимый в герметичных и противоударных кофрах.

На основании вышеизложенного прошу ВАС взглянуть на вопрос развития в комплексе: уделять внимание не только летательному аппарату и полезной нагрузке-

ке, но и средствам связи и передачи информации, а также цифровизации радиолинии между НСУ и БЛА.

МОДЕЛЬ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ

Статья посвящена разработке модели программно-управляемой радиосистемы с использованием bladeRF. Приемный тракт сигнала реализован в среде моделирования Matlab Simulink. Предоставлены результаты для стандарта IEEE 802.11.

Ключевые слова: технология SDR, программируемые радиочастотные параметры, стандарт IEEE 802.11, bladeRF, DBPSK модуляция.

Программно-определяемые радиосистемы (Software-defined radio (SDR)) активно развиваются, благодаря большому спросу на современное телекоммуникационное оборудование, имеющее широкие возможности настройки. SDR позволяет программно устанавливать и изменять рабочие радиочастотные параметры, такие как диапазон частот и тип модуляции. Главным преимуществом SDR системы является ее универсальность, выражающаяся в том, что систему можно перепрограммировать на любую модуляцию и стандарт передаваемой информации.

Разработанная модель позволяет обрабатывать сигналы на основе стандарта IEEE 802.11. Прием радиосигнала осуществляет устройство bladeRF в диапазоне 2.412 – 2.462 ГГц в соответствии с заданным стандартом. В свою очередь, bladeRF соединено с персональным компьютером посредством интерфейса USB 3.0. Разработанный программный продукт анализирует принятые данные и управляет приемником. На рисунке 1 изображен процесс обмена данными.

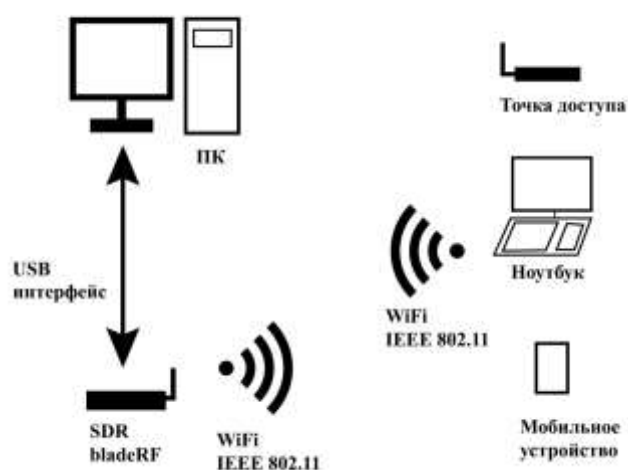


Рисунок 1 – Процесс обмена данными

На функциональной схеме приемника (рисунок 2) показано, что отсчеты принимаемого и передаваемого радиосигнала передаются по шинам RXIQ и TXIQ соответственно между трансивером и FPGA. Аналоговый радиосигнал принимает-

ся и передается в режиме полного дуплекса посредством двух антенн подключенных посредством SMA разъемов. Передача отсчетов между ПЛИС и USB контроллером осуществляется по интерфейсу GPIF (General Programmable Interface) по 512 или 256 бит в зависимости от установленной скорости USB контроллером. Сигнал принимается (передается) от антенн через SMA разъемы, поступая через один из пассивных фильтров на аналоговые входы трансивера. Далее оцифрованный сигнал поступает по 12-битной шине к FPGA и далее к микроконтроллеру FX.

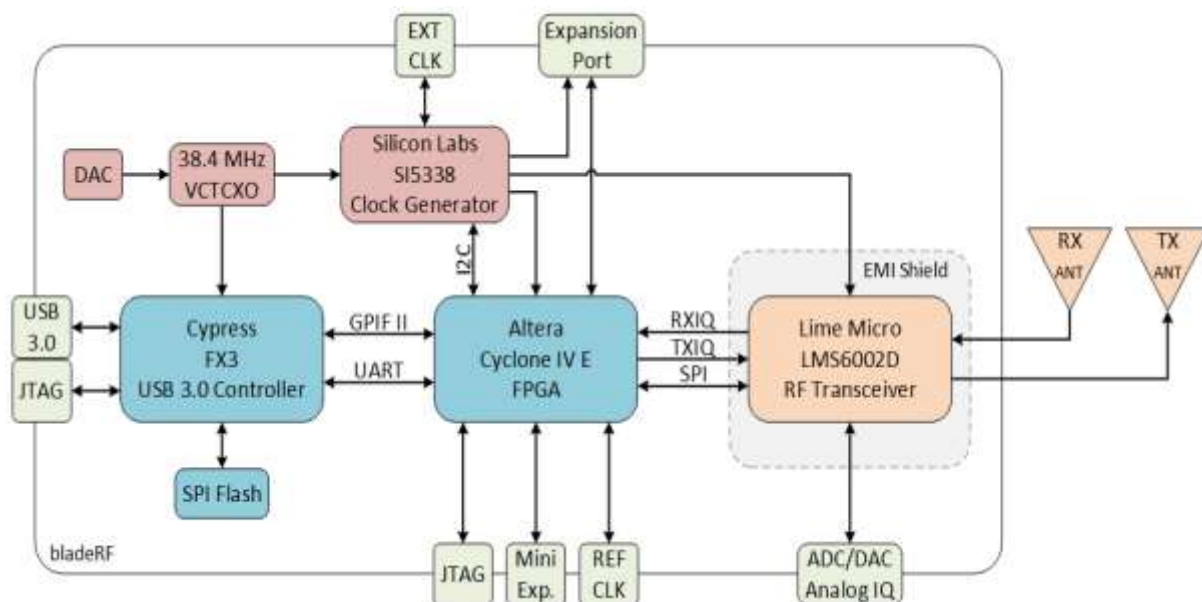


Рисунок 2 – Функциональная схема bladeRF

Основной частью приемника bladeRF, задающим радиочастотные параметры, является микросхема трансивера LMS6002D фирмы Lime Microsystems. Трансивер LMS6002D представляет собой микросхему, служащей приемопередатчиком радиочастот в диапазоне 0,3 - 3,8 ГГц и полосой пропускания до 28 МГц. Трансивер предполагает поддержку различных видов модуляций. Это является возможным благодаря использованию квадратурного модулятора. При модуляции мы можем управлять всего двумя параметрами несущего колебания: амплитудой и полной фазой. При управлении только амплитудой получим амплитудную модуляцию и все ее производные, при управлении полной фазой получим угловую модуляцию (фазовая и частотная). При управлении и амплитудой и полной фазой можно получить все известные виды модуляции. Как видно из функциональной схемы, передаваемый сигнал TXD поступает по 12-и разрядной шине на демультимплексор, который распараллеливает синфазную и квадратурную составляющие сигнала на 2 шины передает на 2 ЦАПа. В результате образуются 2 аналоговых потока представляющие синфазную (TXINI) и квадратурную (TXINQ) составляющие сигнала соответственно, которые подаются на ФНЧ для удаления шумов при цифро-аналоговом преобразовании. Далее составляющие сигнала предварительно усиливаются при помощи TXVGA1 и смешиваются с несущей частотой с разностью фаз 90 градусов, объединяются в один сигнал который подается усиленным на 2 выхода микросхемы

TXOUT1 и TXOUT2. Принимаемый сигнал может подаваться на 3 входа микросхемы (RXIN1, RXIN2, RXIN3), снабженными малошумящими усилителями (LNA1, LNA2, LNA3). Далее сигнал смешивается с частотой гетеродина, в результате на выходе образуются 2 сигнала с разностью фаз 90 градусов, которые усиливаются и подаются на АЦП и далее на мультиплексор. Мультиплексор по очереди подает квадратурную и синфазную составляющие на выход RXD по 12-и разрядной шине.

В среде моделирования Matlab Simulink реализован приемный тракт сигнала стандарта IEEE 802.11 и устройства.

создана приемная часть для физического уровня, а именно фильтрация, демодуляция цифрового сигнала;

создано декодирование потока информационных бит, т.е. чтение пакетов уровня передачи данных (кадров);

осуществлен текстовый вывод данных в принятых кадрах, таких как идентификатор беспроводной сети (Service Set Identifier), MAC адреса отправителя и получателя, тип кадра (служебный, управляющий, информационный).

Программа представляет собой иерархическую структуру из графических блоков, последовательно обрабатывающих принимаемый сигнал, как показано на рисунке 3.

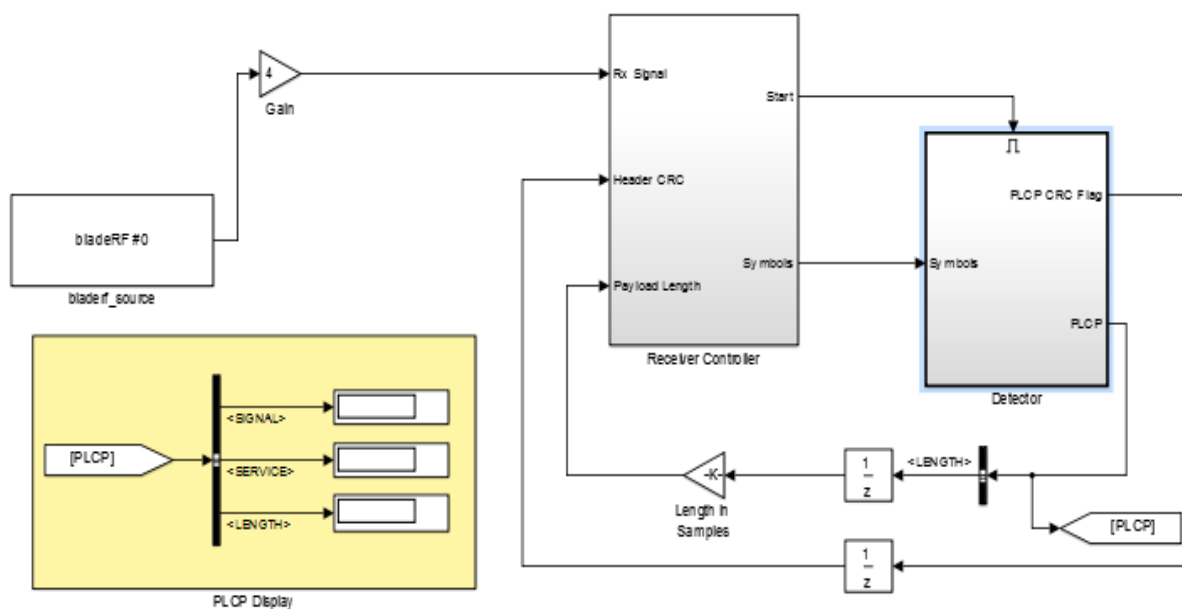


Рисунок 3 – Структура программы из блоков верхней иерархии

Блок `bladerf_source` представляет источник сигнала, в котором задаются параметры устройства: несущая частота, частота дискретизации, ширина полосового фильтра и коэффициент усиления сигнала. Сигнал поступает из этого блока в комплексной форме, без несущей частоты. Далее сигнал усиливается и поступает на блок контроля принимаемого сигнала `Receiver Controller`. Данный блок управляет декодером, анализируя за счет обратной связи PLCP заголовок, несущий инфор-

мацию о возможности дальнейшего декодирования в нем MPDU пакета (определяется видом модуляции), а также его длину. Также в этом блоке осуществляется сужение спектра сигнала, поэтому частота дискретизации сигнала на выходе уменьшается с 22 МГц до 1 МГц. После блока синхронизации данные поступают на блок декодера, который более подробно представлен на рисунке 4.

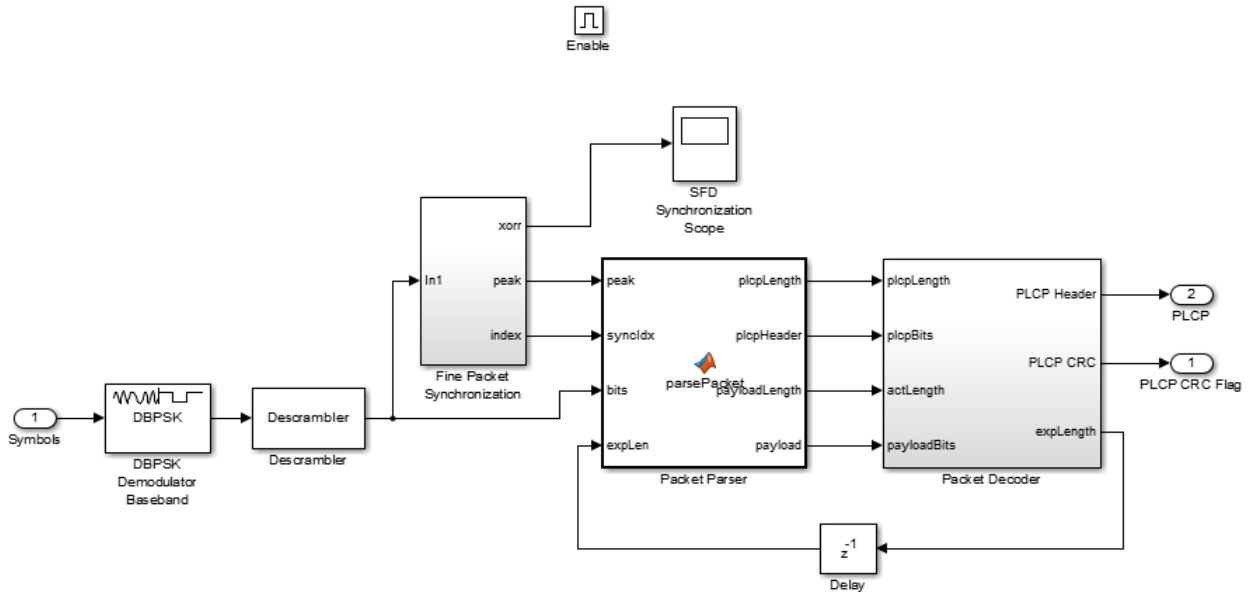


Рисунок 4 – Блок декодера

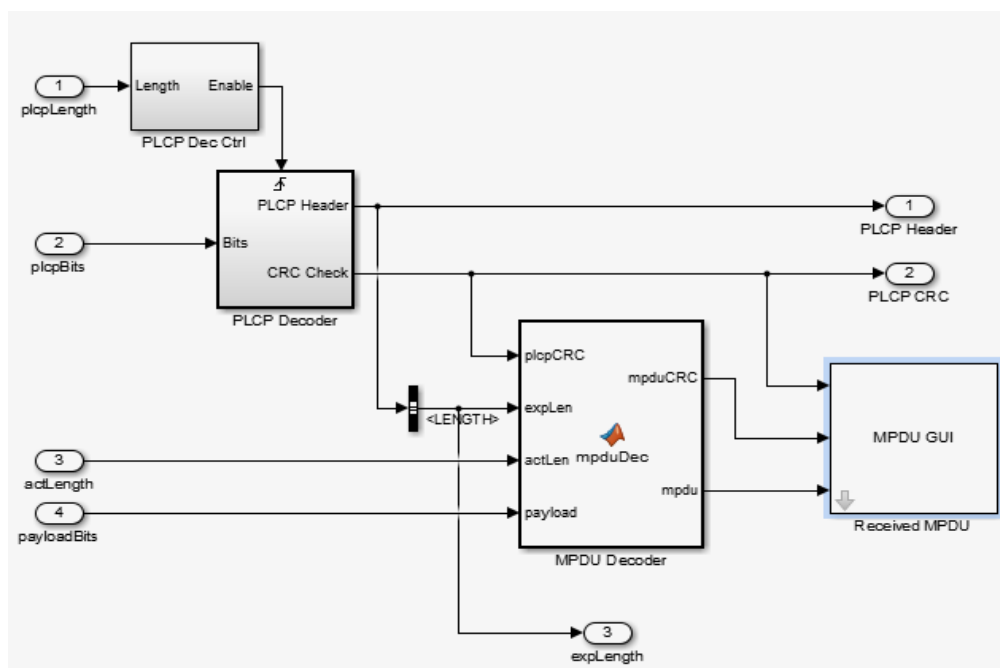


Рисунок 5 – Блок декодирования PLCP пакета

В декодере сигнал демодулируется в поток бит, который декодируется в соответствии со стандартом в блоке дискремблера. Далее биты поступают в блок PacketParser, являющегося функцией, которая определяет начало и длину PPDU пакета, передавая его следующему блоку для декодирования. На рисунке 5 представлен блок Packet Decoder, в котором вычисляется и сравнивается контрольная сумма

PPDU пакета, анализируется его заголовок. Также в этом блоке из PPDU пакета извлекается MPDU, в также анализируются данные с помощью функции MPDU decoder. Все полученные данные из пакетов PPDU и MPDU поступают на блок вывода Received MPDU, параллельно передавая управление блоку синхронизации Receiver Controller.

Данные MPDU выводятся в графическое окно MPDU GUI, данные PPDU выводятся в блок PLCP Display.

Ниже на рисунке 6 представлены графики сигналов в широкополосной и узкополосной форме, а также декодированные биты.

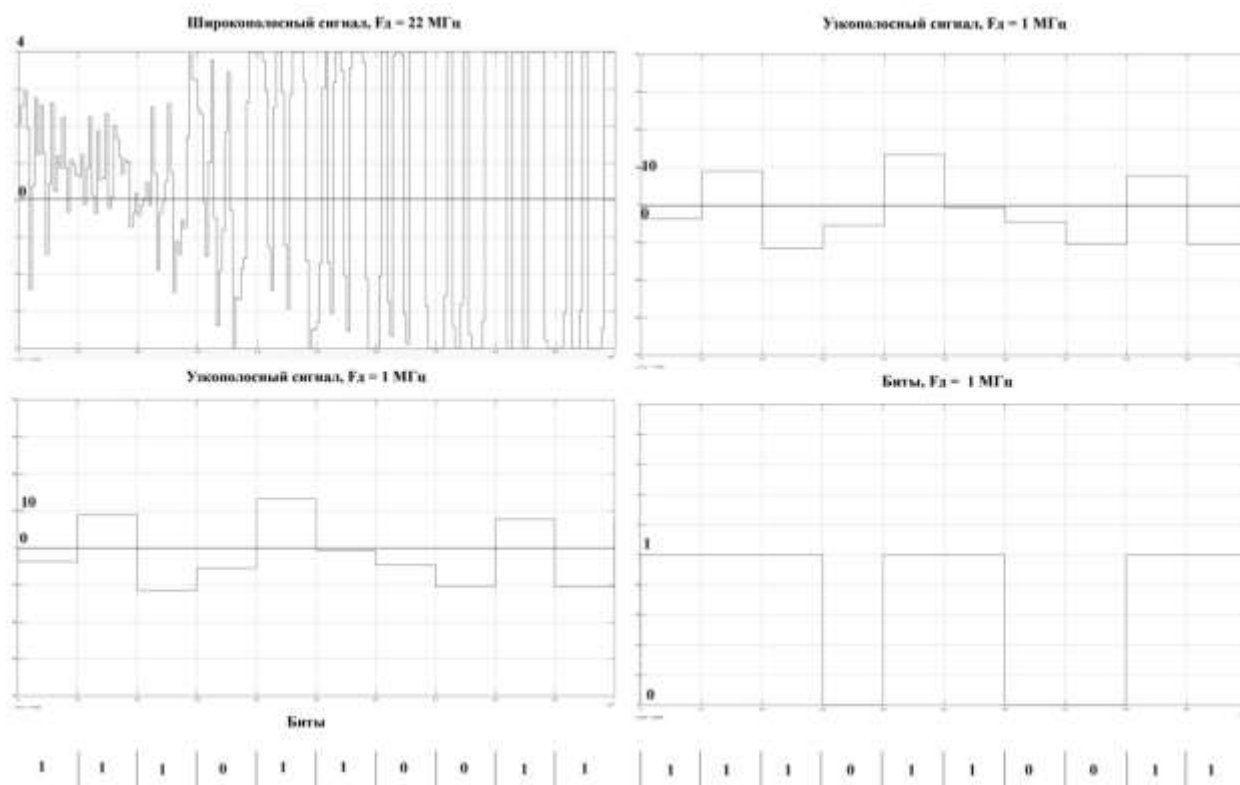


Рисунок 6 – Графики сигнала

Широкополосный сигнал представляет собой сигнал, расширенный с помощью последовательности Баркера и оцифрованный приемником с частотой дискретизации 22 МГц. Затем сигнал преобразован в узкополосный с помощью другой 11-битной последовательности Баркера, путем скалярного произведения векторов. В результате каждому отсчету соответствует одно значение фазы, несущей 1 бит. Положительная амплитуда синфазной составляющей узкополосного сигнала соответствует фазе 0 радиан, а отрицательная π радиан. Так как модуляция относительная, изменение фазы означает "1", а сохранение "0", что видно из рисунка 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия - Телеком, 2013. - 372 с.

2. IEEE Std 802.11b. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999. 89 c.

А.А. ВОЛОСЮК, инженер-эргономист СПб Ф АО
«Концерн «Вега»
В.С. ЗАХАРЧЕНКО, заместитель начальника
управления руководитель проекта СПб Ф АО
«Концерн «Вега»

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗНОРОДНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье описаны принципы проектирования человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) группового управления (ГУ) разнородными робототехническими комплексами (РТК), в том числе с беспилотными летательными аппаратами (БЛА): наглядности, масштабируемости, унификации и адаптивности, позволяющие реализовать эффективное человеко-машинное взаимодействие оператора ГУ с разнородными РТК, не требующее специфического аппаратного обеспечения и специальных навыков управления конкретными РТК.

В настоящее время активно исследуются вопросы одиночного применения различных РТК, в том числе с БЛА военного назначения. Также показано, что совместное применение РТК открывает широкие перспективы [1, 2] и повышает гибкость и надёжность робототехнических систем [3]. Однако, вопросы обеспечения такого применения разнородных РТК военного назначения исследуются недостаточно. В том числе, помимо интеграции всех РТК в единое информационное пространство [4], решения требуют задачи проектирования человеко-машинного взаимодействия оператора ГУ с группой разнородных РТК. Эффективность этого взаимодействия обеспечивается:

формированием и поддержанием у оператора ГУ осведомлённости об оперативно-тактической обстановке в зоне решения боевой задачи, о составе и характеристиках (текущих и прогнозируемых) объектов управления, включая доступные к получению в управление;

поддержкой в принятии решений группового управления, включая рекомендации по распределению частных задач между управляемыми и доступными к получению в управление объектами;

быстротой и безошибочностью формирования и передачи управляющих команд от оператора к элементам РТК.

Принципы проектирования человеко-машинного интерфейса группового управления (ЧМИ ГУ), как совокупности методов и средств обеспечения взаимодействия оператора ГУ с группой разнородных РТК, а также варианты реализации этих принципов, являются предметом исследования данной статьи. Авторами выделено четыре основных принципа: наглядности, масштабируемости, унификации и адаптивности.

1. Принцип наглядности

Первым принципом, заложенным в основу построения ЧМИ ГУ, является принцип информационной адекватности или наглядности интерфейса. В качестве реализации этого принципа предложено предъявлять оператору ГУ всю необходимую информацию, относящуюся к выполняемой или планируемой к выполнению боевой задаче, в виде накладываемых друг на друга слоев, воспринимаемых оператором целостно.

Фоновым слоем такого варианта предъявления информации является отображение (в разных режимах) геопространственной основы, представляющей район выполнения задачи группой РТК. На геопространственную основу накладываются настраиваемые пользовательские слои, в том числе отображающие информацию:

- о текущем состоянии, изменениях и прогнозируемых состояниях объектовой обстановки;

- о положении и состоянии управляемых и доступных для управления элементов РТК;

- о статусе и ходе выполнения задач как всей группой РТК, так и отдельными аппаратами, включая траектории их движения, полётные задания и др.;

- о взаимном расположении объектов группового управления, районов интереса или целевых объектов;

- о текущем состоянии, изменениях и прогнозируемых состояниях окружающей среды в зоне интереса.

Совокупность информации, предъявляемой в пользовательских слоях на фоне геопространственной основы, обеспечивает формирование и поддержание у оператора ГУ ситуационной осведомлённости в контексте решаемых задач и позволяет ему планировать реакции объектов управления на изменение обстановки.

2. Принцип масштабируемости

Принято выделять три режима управления РТК [5-8]:

- ручной (пилотажный, исполнительный);

- полуавтоматический (навигационный, тактический);

- автоматический (диспетчерский/супервизорный, стратегический).

Одни и те же управляющие воздействия могут быть отнесены к разным режимам в зависимости от масштаба рассмотрения управляемой системы. К примеру, если рассматриваемая система ограничивается двигателем БЛА, то управляющее воздействие, переключающее режим работы двигателя, будет классифицировано как автоматическое. Такое же воздействие для системы, состоящей из БЛА в целом, будет относиться к полуавтоматическому режиму. А для системы, включающей группу разнородных РТК, такое воздействие будет считаться управлением и исполнительного уровня. Большинство современных и перспективных РТК военного назначения и модулей полезной нагрузки в той или иной степени поддерживают все три режима управления [9]. При этом замечено, что доля использования ручного режима в алгоритмах управления неукоснительно снижается в пользу полуавтоматического и автоматического режимов.

Динамическая классификация в ЧМИ ГУ всего множества доступных оператору управляющих воздействий в зависимости от масштаба рассмотрения управляемой системы составляет суть второго принципа – принципа **масштабируемости** интерфейса. Задание оператором текущего масштаба рассмотрения управляемой системы предложено реализовать в окне предъявления информации пользовательских слоёв на геопространственной основе посредством указания курсором (селекции) единичного объекта управления или группы таких объектов. В этом же окне, посредством контекстных меню, предложена реализация следующих функций, соответствующих режимам автоматического и полуавтоматического управления в масштабах как единичного, так и всей группы РТК:

- корректировка внешних условий реализации задачи (например, указание зон запрета полетов, изменение параметров районов и объектов мониторинга);

- определение (переопределение) целей и распределение (перераспределение) задач между элементами РТК (например, полётных заданий и объектов слежения);

- изменение порядка автоматического применения элементов РТК или целевых значений единичных параметров (например, частота аэрофотосъёмки и курс движения).

По вызову оператора в отдельных свободно перемещаемых окнах предъявляются модули полуавтоматического уровня управления, доступа к ручному управлению, предъявления телеметрической информации и др. В вызываемых оператором модулях и контекстных меню информация предъявляется в зависимости от текущего масштаба рассмотрения управляемой системы (состава выбранных оператором ГУ объектов управления).

Такая структурированная организация контекстного предъявления в информационной модели экранных элементов управления обеспечивает ЧМИ ГУ быстротой, понятностью для оператора и однозначностью доступа ко всему объёму функциональных возможностей группового управления.

3. Принцип унификации

Человеко-машинные интерфейсы управления различными современными и перспективными РТК военного назначения сильно отличаются друг от друга, особенно в режимах полуавтоматического и ручного управления. Наиболее значимо эти отличия проявляются в специфических требованиях к программно-аппаратному обеспечению и к навыкам человека-оператора [9]. Таким образом, для решения задачи совместного применения (группового управления) различных РТК, ЧМИ ГУ должен отвечать третьему основному принципу – согласованности или унификации интерфейса. Реализация этого принципа включила в себя:

- единообразии правил группирования и форматизации предъявляемой оператору ГУ информации, в том числе о текущем и прогнозируемом состоянии управляемых элементов РТК, а также о возможностях управляющих воздействий на них;

- единообразии правил предъявления и обработки телеметрической информации, передаваемой объектами ГУ;

единообразии методов ввода управляющих команд для передачи их на объекты ГУ и предъявления оператору информации о результатах их исполнения.

Единоеобразие правил и методов ввода/вывода данных в ЧМИ ГУ приводит к значительному сокращению требований к программно-аппаратным средствам обеспечения такого интерфейса и к необходимым навыкам оператора ГУ.

4. Принцип адаптивности

Реализация первых трёх принципов в ЧМИ ГУ обеспечивает оператора доступом к большому количеству функциональных возможностей совместного применения различных РТК. Но в рамках решения конкретной задачи лишь часть этих возможностей оказывается востребованной [9] и доступ оператора к этим возможностям должен быть максимально облегчён. В то же время, во избежание перегрузки оператора информацией, невостребованная часть функционала должна быть скрыта. Таким образом, определяется четвёртый принцип построения эффективного ЧМИ ГУ – принцип адаптивности интерфейса, обеспечиваемый реализацией следующих возможностей:

настраиваемое отключение части функционала (пользовательских слоёв, модулей, контекстных меню) от предъявления, вне зависимости от срабатывания условий его вызова;

настраиваемое включение постоянного предъявления части функционала или быстрого его вызова (горячей клавишей).

Возможность адаптировать к решаемой задаче порядок предъявления данных в информационной модели ЧМИ ГУ позволяет заметно сократить время оценки ситуации (включая оценку возможных воздействий на объекты управления), а также время на принятие решений группового управления.

Для оценки эффективности вариантов ЧМИ ГУ проведён эксперимент на базе полунатурного испытательного стенда производства СПбФ АО «Концерн «Вега». В эксперименте сравнивались два варианта организации ЧМИ ГУ:

автоматизированное рабочее место (АРМ), одновременно реализующее два проприетарных интерфейса управления РТК, взаимодействующих с программными имитаторами РТК;

АРМ, реализующее прототип ЧМИ ГУ, разработанный с учётом принципов наглядности, масштабируемости, унификации и адаптивности интерфейса.

В качестве тестовой была использована задача ведения разведки в заданном районе с использованием двух различных БЛА с установкой на скорейшее получение данных в максимально возможном объёме. При решении задачи требовалось:

спланировать порядок и инициировать начало применения доступных средств ведения разведки;

производить оценку положения управляемых объектов и районов разведки в пространстве;

удерживать в поле зрения или в памяти совокупность перемещающихся объектов и информацию о значимых параметрах конечной ситуации;

периодически выполнять умственные операции для установления и экстраполяции взаимосвязей между различными параметрами ситуации и выбора очередного шага алгоритма решения;

формировать пространственно-временной образ ситуации;

прогнозировать динамику перемещения объектов;

корректировать параметры движения объектов.

Для оценки эффективности вариантов организации ЧМИ использовались показатели, предложенные для оценки качества деятельности при решении стандартной диспетчерской задачи по оценке воздушной обстановки и управлению динамическим процессом [10]. Это показатели времени оценки ситуации и принятия решения, а также вероятность ошибочных действий при осуществлении логических операций, реализации команд и действий наглядно-образных преобразований, объединяющий, а также точность глазомерных операций.

Результаты эксперимента подтвердили преимущества использования прототипа ЧМИ ГУ, разработанного в соответствии с принципами наглядности, масштабируемости, унификации и адаптивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schwager M., Julian B., Angermann M., Rus D. Eyes in the sky: Decentralized control for the deployment of robotic camera networks // *Proceedings of the IEEE*. – 2011. – № 99 (9). – P. 1541-1561.
2. Fink J., Michael N., Kim S. and Kumar V. Planning and control for cooperative manipulation and transportation with aerial robots // *International Journal of Robotics Research*. – 2010. – № 30 (3). – P. 324-334.
3. Franchi A., Secchi C., Ryll M., Bulthoff H.H., Giordano, P.R. Shared control: Balancing autonomy and human assistance with a group of quadrotor UAVs // *Robotics & Automation Magazine, IEEE*. – 2012. – № 19 (3). – P. 57-68.
4. Архимандритов И.Б., Захарченко В.С. Разработка специального модуля программного сопряжения для интеграции робототехнического средства в наземный комплекс группового управления. – 2015.
5. Larm, D. Expendable Remotely Piloted Vehicles for Strategic Offensive Airpower Roles. – Air University, Maxwell Air Force Base, Alabama. – 1996.
6. Hancock, P., Mouloua, M., Gilson, R., Kring, E. D., & Kring, J. Ergonomics of UAV/UCAV Mission Success: Considerations for Data Link, Control, and Display Issues. // *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*. – 2001. – № 45. – P. 144-148.
7. Nas, M. The Changing Face of the Interface: An Overview of UAS Control Issues & Controller Certification. / *Unmanned Aircraft Technology Applications Research (UATAR) Working Group 27: Murdoch University*. – 2008.
8. Токарев Ю.П. Методы управления беспилотными летательными аппаратами в общем воздушном пространстве с использованием полётной информации

при автоматическом зависимом наблюдении: дис. ... к.т.н. – СПб: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, 2012.

9. Исследования в обеспечение создания унифицированного комплекса группового управления робототехническими комплексами воздушного, наземного (надводного) базирования тактического и оперативно-тактического назначения : Отчёт о НИР / СПбФ АО «Концерн «Вега»; рук. Злотников К.А.; исполн.: Злотников К.А. [и др.]. – СПб., 2015.

10. Бодров В.А., Турзин П.С., Евдокимов А.В. Комплексная методика моделирования психической напряжённости // Методики диагностики психических состояний и анализа деятельности человека. М.: ИП РАН, 1994. – С. 75-84.

В.Б. ВОЛОШИНОВ, кандидат физико-математических наук, доцент МГУ имени М.В. Ломоносова

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ В СОСТАВЕ АППАРАТУРЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Известно, что акустооптические приборы управления параметрами электромагнитного излучения находят широкое применение в различных областях науки, техники и производства. С помощью акустооптических приборов осуществляется управление основными характеристиками оптического излучения как амплитуда, частота, фаза, поляризация и направление распространения светового пучка. Акустооптические устройства допускают работу с монохроматическим светом, а также и с немонахроматическим излучением, имеющим сплошной или линейчатый спектр. Обычно спектральный диапазон работы акустооптических устройств включает в себя излучение ультрафиолетового, видимого, а также ближнего, среднего и дальнего инфракрасного диапазонов электромагнитного спектра с длинами волн от $\lambda = 0.14$ до $\lambda = 16$ мкм. Наиболее распространенными акустооптическими приборами управления светом являются модуляторы, дефлекторы и перестраиваемые акустооптические фильтры [1-3]. Акустооптические модуляторы управляют амплитудой и интенсивностью световых пучков с быстродействием до $\tau = 10-20$ нсек.

Акустооптические дефлекторы обеспечивают контролируемое электрическим сигналом отклонение светового пучка с максимальным числом пространственно разрешимых элементов $N > 1000$. Перестраиваемые акустооптические фильтры выделяют из падающего света со сплошным, линейчатым или смешанным спектром узкий интервал оптических длин волн $\Delta\lambda$ и обеспечивают в реальном масштабе времени электронную перестройку этого спектрального интервала в широком, порядка октавы, диапазоне оптических частот. Подобная перестройка может быть обеспечена в реальном масштабе времени, т.е. с временами порядка нескольких микросекунд.

Перестраиваемый акустооптический фильтр представляет собой оптическую дифракционную решетку [1-3]. Решетка создается в кристалле движущейся акустической волной. Эта акустическая возбуждается пьезоэлектрическим преобразователем, на который подается электрический сигнал высокой частоты. Если на подобную решетку направить лазерный свет, то решетка отклоняет этот свет на определенный заранее известный угол. При направлении на решетку пучка белого света, то в направлении дифракционного максимума распространяется световой поток, заключенный в узком спектральном интервале $\Delta\lambda$. Центральная длина волны отфильтрованного излучения определяется периодом дифракционной решетки, т.е. в конечном итоге, частотой f управляющего акустического сигнала. Наконец, частота ультразвука и интенсивность отфильтрованного света может регулироваться при

варьировании частоты и мощности электрического сигнала. Как правило, частоты управляющих сигналов лежат в пределах от $f = 30$ МГц до $f = 300$ МГц, а управляющая электрическая мощность ограничена величиной $P < 3.0$ Вт.

Основным достоинством акустооптических фильтров является возможность быстрой электронной перестройка длины волны отфильтрованного излучения.

К другим преимуществам фильтров относятся:

- широкий диапазон электронной перестройки длины волны;
- работа в реальном масштабе времени;
- компактность и малый вес, допускающие аэрокосмическое применение;
- высокая надежность, твердотельное устройство без перемещающихся частей;
- высокое спектральное разрешение;
- малые световые потери;
- малое энергопотребление;
- возможность селекции излучения по поляризации света;
- широкое поле зрения, большая светосила;
- возможность произвольного доступа к отфильтрованным длинам волн света;
- возможность многочастотного режима работы;
- компьютерное управление устройством;
- возможность обработки оптических изображений.

Принимая во внимание перечисленные особенности работы перестраиваемых акустооптических фильтров, можно сделать вывод о перспективности применения данных приборов в аэрокосмических системах дистанционного контроля над объектами искусственного и естественного происхождения. Лаборатория «Акустооптики и оптической обработки информации» кафедры Физики колебаний физического факультета МГУ имеет возможность разработать, создать и испытать действующие прототипы малогабаритных акустооптических спектрометров для спектрального и поляризационного анализа оптических пучков, формирующих изображения в видимом, ультрафиолетовом, а также ближнем и среднем инфракрасном диапазонах спектра электромагнитных волн [1-3].

Из-за малого веса и малых габаритов акустооптических фильтров их можно рекомендовать для проведения дистанционного спектрально-поляризационного анализа изображений с помощью аэрокосмических систем контроля над объектами искусственного и естественного происхождения. В частности, акустооптические фильтры целесообразно включать в комплекс аппаратуры, устанавливаемой на беспилотных летательных аппаратах. Данные летательные аппараты могут осуществлять разведку и мониторинг поверхности Земли, а также состояния её атмосферы в целях экологии и безопасности для обнаружения в окружающей среде отравляющих веществ и газов. Также представляется перспективным использование разработанных приборов для решения задач в военной и специальной технике.

Среди специфических задач, которые целесообразно решать с помощью перестраиваемых акустооптических фильтров, в том числе установленных на беспи-

лотных летательных аппаратах, можно указать следующие, относящиеся к военной тематике:

дистанционное распознавание замаскированных объектов (военной техники, живой силы и др.)

распознавание техники и живой силы по критерию «свой-чужой»;

управление и слежение за перемещением объектов в режиме радиомолчания, маскировки и плохой видимости;

дистанционное обнаружение расположения мест установки противопехотных и противотанковых мин;

определение ограждаемых территорий, границ минных полей и проходов через них;

разметка маршрута в горной, лесной или сложной для прохода местности;

установка точек прицеливания и реперных точек при корректировке огня;

оперативный контроль за химическим составом питьевой воды в походных условиях.

Существуют и другие перспективные направления использования перестраиваемых акустооптических фильтров в составе аппаратуры беспилотных летательных аппаратов. Очевидно, что возможности применения акустооптических приборов будут постоянно расширяться. Это произойдет благодаря интенсивным научно-исследовательским работам по созданию новых систем фильтрации и совершенствованию параметров уже существующих акустооптических систем обработки оптических сигналов. В настоящее время подобные работы активно ведутся в научных лабораториях университетов и научно-исследовательских институтов в стране и за рубежом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.С.Анчуткин, А.Б.Бельский, В.Б. Волошинов, К.Б.Юшков, «Акустооптический метод спектрально-поляризационного анализа изображений», Оптический журнал, 2009, т. 76, N 8, стр. 29-35.

2. N.Gupta and V.Voloshinov, «Hyperspectral Imager from Ultraviolet to Visible with a KDP. Acousto-Optic Tunable Acousto-Optic Filter», Applied Optics, 2004, v.43, N 13, p.2752-2759.

3. N.Gupta, V.B.Voloshinov, G.A.Knyazev and L.A.Kulakova, «Tunable wide angle acousto-optic filter applying crystal tellurium», Journal of Optics, 2011, N 14, pp.035502-035511.

В.И. ГОРЕЛОВ, доцент кафедры ВВС МГТУ им.
Н.Э. Баумана
О.В. КОВЫЛОВ, профессор кафедры организации
и управления воздушным движением, кандидат
военных наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ИНТЕРЕСАХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПИЛОТИРУЕМОЙ АВИАЦИИ

В статье проведен анализ современного воздушного законодательства и рассмотрены вопросы его совершенствования в интересах повышения безопасности применения беспилотных воздушных судов (БВС) и пилотируемой авиации.

В настоящее время БАС, получившие широкое распространение во всем мире, в том числе и в России, продолжают быстро развиваться. БВС постепенно становятся главной продукцией многих авиационных фирм, применяются при решении широкого круга задач, от военных и специальных до коммерческих. Их используют для съемок извержения вулкана из самого кратера, доставки медикаментов, создания удивительных представлений, срывов футбольных матчей и других целей, как полезных, так и опасных. Множество серьезных инцидентов, произошедших с участием БВС в последнее время, заставляет взглянуть на их популярность с позиции обеспечения безопасности.

В РФ БАС стали особенно активно внедряться на протяжении последних двух лет. К настоящему времени в силовых ведомствах сформированы подразделения для эксплуатации БАС, производится их оснащение техникой, подготовка личного состава. Однако результативность применения БАС сдерживается рядом причин, наиболее важной из которых является несовершенство воздушного законодательства в части организации полетов БВС.

Воздушное законодательство Российской Федерации состоит из Воздушного кодекса РФ, федеральных законов, указов Президента Российской Федерации, постановлений Правительства Российской Федерации, федеральных правил использования воздушного пространства, федеральных авиационных правил, а также принимаемых в соответствии с ними иных нормативных правовых актов Российской Федерации. [1]

Согласно Федеральным Правилам, «"беспилотный летательный аппарат" - летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов» [2].

Таким образом, все, что летает на радиоуправлении либо по программе, считается БВС. Более того, каждое БВС должно соответствовать всем предъявляемым к ним требованиям. Понятия «модель воздушного судна», либо какого-то иного, для обозначения разного рода летающих игрушек не существует. Как не существу-

ет классов БВС и различных подходов к правилам использования ими воздушного пространства. Требования одни, независимо от того, что поднимается в воздух: самолет с сотнями пассажиров или квадрокоптер, который умещается на ладони.

Нестыковки начинаются уже с терминологии. В основных руководящих документах воздушного законодательства [2, 3, 6, 7, 8] применяется устаревший термин БЛА, а действующий уже более года ГОСТ [4] дает аналогичное определение для «беспилотного воздушного судна», как и международные документы. [5] В руководящих документах вместо понятия БАС применяются «комплекс с БЛА», «беспилотный авиационный комплекс» и другие. По-видимому, налицо необходимость скорейшего перехода на терминологию, определенную ГОСТом. Это особенно актуально сейчас, в период разработки ведомственных нормативных документов по БАС.

Основным нормативным документом, регулирующим вопросы использования воздушного пространства БВС, являются Федеральные правила использования воздушного пространства РФ, согласно которым, воздушное пространство начинается сразу от земли. “Щелочки” между поверхностью земли и реальным воздушным пространством, используемым пилотируемой авиацией, и в которую могли бы поместиться авиамodelисты и БВС класса «микро», подобно моделям, нет.

Согласно ст. 11 Воздушного кодекса РФ, использование воздушного пространства представляет собой деятельность, в процессе которой осуществляются перемещение в воздушном пространстве различных материальных объектов, а пользователями воздушного пространства являются граждане и юридические лица, наделенные в установленном порядке правом на осуществление деятельности по использованию воздушного пространства.

В целях использования воздушного пространства беспилотным летательным аппаратом применяется только разрешительный порядок. Использование воздушного пространства беспилотным летательным аппаратом в воздушном пространстве классов А, С и G осуществляется только на основании плана полета воздушного судна и разрешения на использование воздушного пространства. [1]

Полеты БВС могут выполняться только в специально выделенном (сегрегированном) воздушном пространстве посредством установления временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений. Приступить к осуществлению деятельности, связанной с использованием воздушного пространства, для обеспечения которой установлен такой режим, без получения подтверждения от соответствующих оперативных органов Единой системы о готовности к их обеспечению не допускается. Это создает дополнительные сложности при организации выполнения подразделениями неотложных задач.

Представление на установление временного режима подается в соответствующий центр Единой системы не позднее, чем за пять суток до необходимого времени введения в действие, местного режима – за трое суток, а кратковременного ограничения - за три часа до необходимого времени введения в действие режима в отношении выполнения полетов при оказании помощи при чрезвычайных ситуаци-

ях природного и техногенного характера, проведении поисково-спасательных работ. Для задач, решаемых БВС силовых структур даже такие сроки слишком велики. Для сравнения: в воздушном пространстве класса G полеты обычного легкомоторного самолета или вертолета, летающего ниже 3050 м и со скоростью менее 450 км/ч, выполняются в уведомительном порядке, разрешение не требуется.

В последнее время все больше людей, не имеющих отношения к авиамоделизму или профессиональному использованию БВС, покупают и поднимают в воздух недорогие и простые в управлении беспилотники (например, Phantom). Продажа БВС осуществляется бесконтрольно, без ограничений по возрасту и дееспособности граждан. Несмотря на высокую общественную опасность, БВС может купить любой желающий. Частные владельцы беспилотников, вообще не руководствуются никакими правилами полетов. При этом они слабо понимают, в каком правовом поле оказались, и чем все это грозит.

За нарушение в использовании ВП, пользователем (не пользователем) ВП, согласно статье 11.4, часть 1 (часть 2) КоАП РФ, на частное лицо налагается штраф в размере от 2 до 5 тысяч рублей, на должностное лицо – от 25 до 30 (от 30 до 50) тысяч, на юридическое лицо – от 250 до 300 (от 300 до 500) тысяч рублей или отзыв лицензии на 90 дней.

В соответствии со статьей 271.1 УК РФ, использование воздушного пространства РФ без разрешения в случаях, когда такое разрешение требуется в соответствии с законодательством, если это повлекло по неосторожности причинение тяжкого вреда здоровью или смерть человека, – наказывается лишением свободы на срок до 5 лет. То же деяние, повлекшее по неосторожности смерть двух или более лиц, – наказывается лишением свободы на срок до 7 лет.

Однако применение закона на практике в настоящее время затруднено, поскольку трудно, а порой невозможно установить владельца БВС. Сертификация и регистрация БВС в связи с отсутствием правовой базы не проводятся, опознавательные регистрационные знаки на них отсутствуют.

Таков далеко не полный перечень проблем, существующих в воздушном законодательстве РФ в отношении применения БВС. Хочется надеяться, что в ближайшем будущем они будут решены.

Около года назад Минэкономразвития России рассмотрело проект федерального закона «О внесении изменений в ВК РФ в части использования БВС», разработанный Минтранс России. Законопроект создаёт правовую основу для формирования законодательной базы по использованию беспилотных воздушных судов, сертификации, государственной регистрации, допуска и выполнения полётов, поддержания лётной годности, требований к авиационному персоналу, обеспечения безопасности полётов и авиационной безопасности, расследования авиационных происшествий.

В проекте закона установлены правовые основы допуска к работе с беспилотным судном, конкретизируется состав «экипажа». Одна из статей Воздушного

кодекса РФ дополняется нормой, устанавливающей понятие «наблюдатель» как название одной из категорий членов команды беспилотного судна.

В марте 2015 г. были внесены предложения по изменениям в Воздушный кодекс РФ, в отношении БВС, в декабре приняты поправки, коренным образом отличающиеся от опубликованных предложений. В настоящее время в соответствии с этим уточняются положения Федеральных авиационных правил, перерабатываются другие необходимые руководящие документы.

Минтрансу придется внести изменения в порядок обозначения, идентификации, маркировки воздушных судов, ведь беспилотники иногда так малы, что номер на его борту будет очень сложно увидеть. Для них должна использоваться альтернативная идентификация, но какая именно, пока не известно.

На этапе формирования и утверждения поправок в документы по БАС целесообразно учесть приведенные ниже предложения.

Во-первых, на государственном уровне утвердить классификацию БВС. Для каждого класса должны применяться различные уровни требований. За основу можно принять уточненные положения «Межведомственной концепции...» от 2013 г. [8] В соответствии с этим документом, выделяются 5 классов БВС: микро (до 1 кг), малый (до 30 кг), легкий (до 200 кг), средний (до 500 кг) и тяжелый (свыше 500 кг).

Во-вторых, включить положение о том, что БВС всех классов, включая микро, должны иметь индивидуальные опознавательные (идентификационные) знаки (номера) и проблесковые аэронавигационные огни (средства повышающие их заметность).

В третьих, ввести норму, согласно которой все БВС должны регистрироваться при продаже, храниться в соответствии с определенными правилами и использоваться совершеннолетними гражданами. Желательно, чтобы БВС класса «микро», приобретаемые гражданами имели программное ограничение максимальной высоты полета менее 100 метров.

В-четвертых, все БВС, кроме «микро», должны быть в зарегистрированы в порядке, определенном государственными органами. Порядок выполнения полетов – разрешительный. Уведомительный порядок может применяться в отношении государственных БВС в отдельных, оговоренных в законе, случаях. Такой подход позволит лучше контролировать полеты БВС.

БВС МЧС и ряда других ведомств (любого класса) должны иметь право выполнять полеты без получения разрешения вдали от аэродромов и посадочных площадок в пределах визуальной видимости (не более 5 км) до высоты 60-90 м от поверхности земли (вариант: не выше 50 м над препятствиями на ней). Выдерживание такой высоты позволит снизить вероятность инцидентов, связанных с ВС пилотируемой авиации общего назначения, которые по правилам ПВП не должны снижаться ниже 100 м над препятствиями (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема использования воздушного пространства

В-пятых, существует необходимость внести в воздушное законодательство понятие «спасательный полет» в отношении БВС - полет, связанный со спасением жизни человека. Спасательный полет должен выполняться в кратчайшие сроки (по готовности) с немедленным уведомлением органов ОрВД. В статье 13 Воздушного кодекса РФ следует закрепить место такого полета для спасения жизни человека в системе приоритетов на использование воздушного пространства.

В-шестых, следует более четко определить мотивацию (причины) и порядок оперативного введения кратковременных ограничений и запретов на ИВП для обеспечения выполнения авиационно-спасательных работ с использованием БВС, уменьшить сроки подачи заявок на выполнение задач данного типа в интересах силовых ведомств.

В-седьмых, предусмотреть возможность перехода к полетам по правилам применяемым к пилотируемой авиации при оснащении БВС соответствующей аппаратурой (передатчиками АЗН-В, трекерами, бортовыми системами предупреждения столкновений и др.) для повышения безопасности полетов и эффективности использования воздушного пространства. Это позволит применять большие БВС для длительного мониторинга без введения режима ЧС и ограничений.

Изменения в основные документы, определяющие порядок безопасной и эффективной эксплуатации БВС, находятся на стадии доработки и утверждения, что

позволяет надеяться на то, что в них будет учтена специфика задач МЧС, и созданы условия для успешного и своевременного их решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 13.07.2015) (с изменениями и дополнениями, вступ. в силу с 24.07.2015).
2. «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации». Постановление Правительства РФ от 11 марта 2010 г. N 138 (с изм. и доп., вступ. в силу с 4.08.2015 г.).
3. Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации». Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 25 ноября 2011 г. № 293.
4. ГОСТ Р 56122-2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 сентября 2014 г. № 1130-ст.
5. Циркуляр 328 ИКАО. Беспилотные авиационные системы (БАС).
6. Приказ Минтранса РФ от 27 июня 2011 г. № 171 «Об утверждении Инструкции по разработке, установлению, введению и снятию временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений».
7. Приказ Минтранса РФ от 24.01.2013 г. N 13 «Об утверждении Табеля сообщений о движении воздушных судов в Российской Федерации».
8. Межведомственная концепция создания перспективных комплексов с беспилотными летательными аппаратами на период до 2025 года (утверждена министрами МВД, МО, МЧС, Минпромторга, директором ФСБ), Москва, 2013 г.

С.П. ГУЛЕВИЧ, д.т.н., профессор, академик
Академии военных наук
Д.Н. МЕЛЬНИКОВ ООО «Группа Кронштадт»
А.П. СУВОРОВ ООО «Группа Кронштадт»

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАРАНТИЙНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАПАСА ТОПЛИВА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В данной статье рассмотрено влияние эксплуатационного разброса величины коэффициента лобового сопротивления на практическую дальность полета.

Практическая дальность полета беспилотного летательного аппарата (БЛА) является чрезвычайно важной характеристикой, определяющей в значительной степени его тактическое применение во всем фазовом пространстве ожидаемых условий эксплуатации.

На дальность полета БЛА влияют многие факторы, как детерминированные, так и факторы, носящие случайный характер.

Для удобства и простоты инженерно-штурманского расчета (ИШР) дальности и продолжительности полета БЛА случайные факторы, влияющие на расходные характеристики и, в конечном итоге, на дальность и продолжительность полета, учитывают величиной гарантийного технического запаса топлива.

Величина гарантийного технического запаса топлива определяется возможными отклонениями фактических километровых расходов топлива от принятых при расчетах дальности и продолжительности полета, которые обусловлены [1]:

погрешностью определения величины коэффициента лобового сопротивления (включая погрешность балансировочного отклонения элевонов);

технологическим и эксплуатационным разбросом величины коэффициента лобового сопротивления от его номинального значения;

погрешностью определения величины тяги маршевого двигателя при стендовых испытаниях маршевого двигателя;

технологическим и эксплуатационным разбросом величины тяги маршевого двигателя от ее номинального значения;

погрешностью определения величины номинального значения километрового расхода топлива;

технологическим и эксплуатационным разбросом величины километрового расхода топлива от его номинального значения;

отличием фактического распределения температуры окружающего воздуха и атмосферного давления по высоте полета на протяжении всего маршрута полета от прогнозируемого;

отличием фактических значений скорости и направления ветра по маршруту полета от прогнозируемых;

навигационной погрешностью;

погрешностью стабилизации заданного высотно-скоростного режима полета БЛА;

отличием величины располагаемого запаса топлива от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета;

характером рельефа.

Вопросы определения гарантийного технического запаса топлива БЛА представляют серьезную научно-техническую проблему, одним из аспектов которой является определение эксплуатационного разброса величины километрового расхода топлива от его номинального значения.

Эксплуатационный разброс коэффициента лобового сопротивления ($C_{ха}$) определяется изменением $C_{ха}$ в процессе эксплуатации БЛА при многократном применении.

В полете, особенно на участках старта и посадки, конструкция БЛА испытывает значительные перегрузки, вследствие чего на обшивке планера и крыла возникают различные неровности (гофры, выступающие заклепки, винты, зазоры по стыкам листов обшивки, изменение шероховатости поверхности, выступление герметика из зазоров по стыкам листов и т.д.) и деформации, которые изменяют картину обтекания аэродинамических поверхностей летательного аппарата.

При увеличении шероховатости, появлении различных неровностей, деформаций точка перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный сдвигается вперед и доля поверхности, обтекаемая турбулентным пограничным слоем, увеличивается. Вместе с этим возрастает и сопротивление трения. Кроме того в некоторых местах планера БЛА происходит вихреобразование и отрыв потока от поверхности, что вызывает дополнительное увеличение сил трения. Все это приводит к ухудшению несущих свойств крыла, то есть уменьшению подъемной силы. Для уравнивания всех сил и моментов в режиме установившегося горизонтального полета увеличивается угол отклонения элеронов БЛА, что приводит к увеличению угла атаки и, как следствие, к росту лобового сопротивления БЛА. При этом несколько увеличивается тяга маршевого двигателя и, как следствие, расходы топлива.

Кроме того, возникшие в процессе многократного применения БЛА деформации и повреждения нарушают симметрию обтекания БЛА воздушным потоком, что вызывает возникновение боковых аэродинамических сил и моментов в полете. Для уравнивания возникших боковых сил и моментов изменяется отклонение каждого из элеронов на величину, необходимую для компенсации появившихся боковых сил и моментов относительно балансирующего положения, что приводит к изменению лобового сопротивления БЛА.

Таким образом, в качестве инструмента учета эксплуатационного разброса коэффициента $C_{ха}$ можно принять диапазон изменений значений балансирующего отклонения элеронов БЛА.

Балансировочное отклонение элевонов беспилотного самолета разведчика (БСР) Ту-143, Ту-243 за счет изменения высоты, скорости полета, изменения массы летательного аппарата в полете, технологии изготовления и деформации планера при эксплуатации составляет $(2,2 \dots 2,5) \pm 1$ град.

Указанные разбросы балансировочного отклонения элевонов БСР Ту-143, Ту-243 (от среднего значения) вызывают изменения коэффициента C_{xa} в пределах (таблица 1) $0,0003 \dots 0,0005$ ($0,68 \dots 1,13\% C_{xa}$) [2].

Т а б л и ц а 1 Зависимость влияния балансируемого отклонения БСР Ту-143 на лобовое сопротивление

H=50м, M=0,7, q=3543 кг/м ² , МСА												
G, кг	δв, град	C _{x0}	C _x ^{C_y²}	ΔC _y *	ΔC _x (δ)	ΔC _x тр	ΔC _x f		C _{xi}	C _x	Q, кг	Q _i , кг
1315	-5	0,0385	0,305	-0,016	0,002	0	0,0005	0,128	0,0063	0,0473	486	65
1315	0	0,0385	0,305	0,003	0	0	0,0005	0,128	0,0048	0,0438	450	49
1315	5	0,0385	0,305	0,019	0,002	0	0,0005	0,128	0,0036	0,0446	458	37
H=4000м, M=0,75, q=2476 кг/м ² , МСА												
1315	-5	0,0395	0,300	0,018	0,0024	0,0008	0,0005	0,183	0,0121	0,0553	397	87
1315	0	0,0395	0,300	0	0	0,0008	0,0005	0,183	0,0100	0,0508	365	72
1315	5	0,0395	0,300	0,016	0,0024	0,0008	0,0005	0,183	0,0083	0,0515	370	60

Необходимо отметить, что в процессе эксплуатации БЛА возможны различные эксплуатационные повреждения планера и его систем. Так при эксплуатации БСР Ту-143 в войсках при 322 применений в 186 (57,56%) случаях получены мелкие повреждения планера и его систем. Практически все эксплуатационные повреждения планера можно свести к следующим группам повреждений: вмятины, пробоины металлической и стеклопластиковой обшивки отсеков планера, крыла и вертикального оперения, деформации фюзеляжа, крыла и вертикального оперения.

Устранения указанных повреждений осуществляются проведением клепальных, клеевых работ, установлением накладок на поврежденную обшивку планера. В соответствии с [2] наибольшее приращение коэффициента лобового сопротивления дают наклейки и неровности на несущих поверхностях крыла ($\Delta C_{x,кр.накл}$) и фюзеляжа ($\Delta C_{x,ф.накл}$).

На рисунках 1 и 2 приведены графики зависимости C_{x0} (M) до и после ремонта и график зависимости изменения C_{x0} (M) после ремонта БСР Ту-143. Из анализа зависимости $\Delta C_{x0} = f(M)$ следует, что установка ремонтных накладок на крыле и фюзеляже приводит к увеличению коэффициента лобового сопротивления на

2-4%, а неровности и шероховатости поверхности фюзеляжа, полученные в результате проведения клепальных и клеевых работ, на 1%.

Общее суммарное изменение коэффициента лобового сопротивления $\Delta C_{x0.общ}$ с учетом перечисленных выше факторов и поправкой на несовершенство методики расчета, составит от 9 до 10% [2].

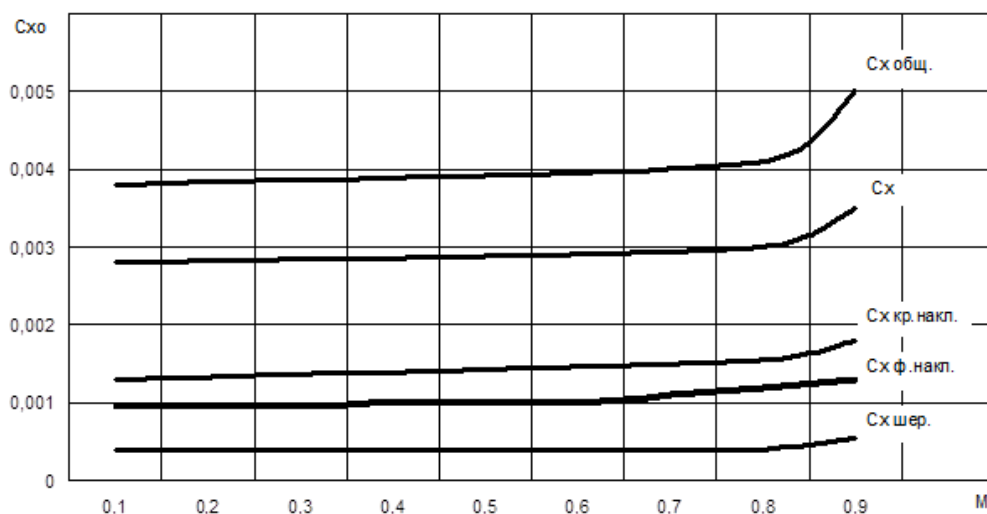


Рисунок 1 – Изменение коэффициента лобового сопротивления БСР Ту-143 после ремонта

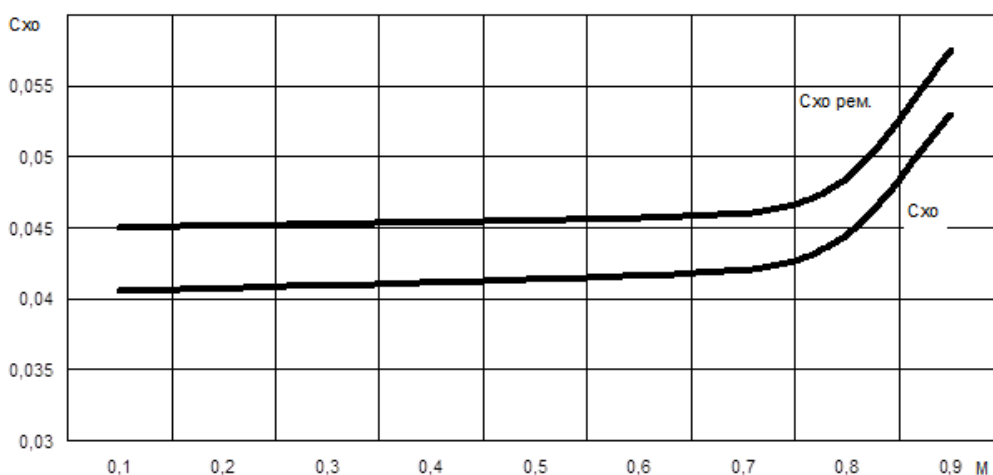


Рисунок 2 – Коэффициент лобового сопротивления БСР Ту-143 до и после ремонта

Таким образом, при эксплуатации БСР Ту-143, Ту-243 после проведения мелкого ремонта планера необходимо при расчете дальности и продолжительности полета учитывать увеличение коэффициента лобового сопротивления путем корректировки коэффициента гарантийного технического запаса топлива в сторону увеличения на 7,5... 8%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулевич С.П., Исаев С.А. Методика определения гарантийного технического запаса топлива и практической дальности полета БЛА. М.: ВИНТИ, Проблемы безопасности полетов, № 5, 2000.

2. Гулевич С.П., Моисеенко С.В., Черепанов Е.Ю. Влияние технологических и эксплуатационных разбросов коэффициента лобового сопротивления беспилотного летательного аппарата на дальность и продолжительность полета. М.: ВИНТИ, Проблемы безопасности полетов, № 10, 2002.

С.П. ГУЛЕВИЧ, д.т.н., профессор, академик
Академии военных наук
Д.Н. МЕЛЬНИКОВ ООО «Группа Кронштадт»
А.П. СУВОРОВ ООО «Группа Кронштадт»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ ПОЛЁТА С ОГИБАНИЕМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Рассмотрены вопросы безопасности применения БЛА в условиях горной местности в режиме огибания рельефа.

Вопросы безопасности применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) представляют серьезную научно-техническую проблему. Один из аспектов данной проблемы – обеспечение безаварийного применения БЛА при выполнении полетов в условиях горного сложно-пересеченного рельефа местности.

Рассмотрим суть данной проблемы и возможные пути ее решения на примере полета БЛА Ту-243Д в условиях горного рельефа местности в режиме огибания рельефа.

Важнейшим эксплуатационным фактором, определяющим безопасность полета БЛА в режиме полета с огибанием рельефа, является минимально-допустимая безопасная высота полета.

Минимально-допустимая безопасная высота полета БЛА, определяемая из условия нестолкновения БЛА с землей, зависит от показателей эксплуатационной маневренности летательного аппарата, в частности от предельно возможных и допустимых величин перегрузок, быстроты создания перегрузок, а также от диапазона допустимых скоростей полета:

$$H_{\text{зад}}^{\min} = f \left(n_{\text{ya.расп.}}, n_{\text{y.max.}}^{\text{Э}}, t_{\text{ny}}, \Delta V \right), \quad (1)$$

где n_{ya} – располагаемое значение нормальной составляющей перегрузки, определяется предельным значением подъемной силы, которую можно создать при данных мгновенных значениях высоты и скорости полета; $n_{\text{y.max.}}^{\text{Э}}$ – максимальная эксплуатационная перегрузка (предельно допустимая по прочности летательного аппарата), определяется максимально допустимой величиной подъемной силы, которая является постоянной для данного типа летательного аппарата; t_{ny} – время создания нормальной перегрузки; ΔV – диапазон скоростей полета.

Время создания нормальной перегрузки t_{ny} (время выхода на нормальную перегрузку) вместе с располагаемыми для данного типа БЛА значениями n_{y} характеризует возможности выполнения резких маневров, требующих быстрого измене-

ния кривизны траектории полета в плоскости симметрии БЛА, что особенно важно при облете горного сложно-пересеченного рельефа местности.

Время создания нормальной перегрузки t_{ny} и характер зависимости $\Delta n_y = f(t)$ зависит от: момента инерции летательного аппарата относительно его поперечной оси; демпфирующего момента; моментов статической устойчивости, эффективности «руля высоты», инерционности звеньев канала управления продольным движением БЛА.

Показатели эксплуатационной маневренности определяют характер изменения кривизны траектории полета БЛА в плоскости симметрии летательного аппарата и в конечном итоге минимально-допустимую безопасную высоту полета БЛА в режиме огибания рельефа.

При огибании БЛА горного рельефа важнейшим этапам, с точки зрения обеспечения безопасности, является облет восходящих скатов рельефа. Этап полета БЛА над восходящим скатом рельефа, по степени влияния на безопасность полета, можно условно разделить на две основные фазы полета (рисунок 1):

- полет БЛА от момента начала отклонения «руля высоты» (начало облета восходящего ската) до момента окончания переходного процесса, вызванного отклонением элевонов (до момента достижения БЛА угла наклона траектории равным углу восходящего ската, $\theta = \lambda_B$);

- полет БЛА от момента окончания переходного процесса, вызванного отклонением элевонов и стабилизации заданной высоты полета $H_{зад}^{PB}$ до момента огибания вершины ската.



Рисунок 1 – Характерные участки облета одиночной горной возвышенности

Первая фаза полета БЛА определяется переходными процессами возмущенного движения, вызванного отклонением «руля высоты» вверх на кабрирование и характеризуется уменьшением геометрической высоты полета относительно поверхности восходящего ската («просадка» летательного аппарата).

Отклонение траектории в сторону уменьшения геометрической высоты полета над подстилающей поверхностью происходит по причине:

влияния на переходной процесс подъемной силы «руля высоты» при его ступенчатом отклонении (особенно характерно для летательных аппаратов типа «бесхвостка»);

невозможности мгновенного создания необходимого приращения нормальной перегрузки (угла атаки) при отклонении «руля высоты» и достижения требуемого угла наклона траектории ($\theta = \lambda_B$);

инерционности звеньев автопилота, а также принципиальной невозможности избежать отклонения БЛА от эквидистанты облета рельефа в том случае, если это отклонение является управляющим сигналом стабилизации заданной высоты.

Вторая фаза полета определяется располагаемой тяговооруженностью БЛА. Профиль полета при достаточной тяговооруженности БЛА близок к эквидистанте, отслеживающей изменение рельефа местности и располагаемой на удалении от подстилающей поверхности, равном заданной геометрической высоте полета.

Однако при больших положительных температурах из-за недостаточной тяги маршевого двигателя набор высоты может сопровождаться уменьшением скорости и, как следствие, увеличением угла атаки.

Для предотвращения выхода угла атаки за допустимое значение, система управления БЛА уменьшает значения заданного угла тангажа, что приведет к уменьшению угла наклона траектории и скороподъемности летательного аппарата.

Для предотвращения столкновения БЛА с землей необходимо увеличить значения минимально-допустимой высоты полета.

Минимально-допустимая безопасная высота полета БЛА в режиме огибания рельефа определяется величиной «просадки» $h_{пр}$ относительно заданной высоты полета (рисунок 1):

$$H_{зад.}^{min} = H_{min.} + h_{пр.} \quad (2)$$

где $H_{min.}$ - минимальная высота полета БЛА над восходящим скатом рельефа в процессе переходных процессов возмущенного движения при огибании рельефа (участок АВ рисунок 1).

Таким образом, для выбора минимально-допустимого значения $H_{зад.}^{min}$ необходимо определить минимальную высоту полета БЛА над подстилающей поверхностью восходящего ската рельефа $H_{min.}$.

Минимально необходимыми параметрами движения БЛА при определении минимальной высоты полета являются:

высота полёта H_0 и угол наклона траектории БЛА Θ_0 до начала процесса возмущённого движения при огибании восходящего ската рельефа;

скорость полёта БЛА – V ;

угол восходящего ската – λ_B ;

приращение величины нормальной перегрузки Δn_y ;

время создания нормальной перегрузки t_{ny} .

Высота полёта БЛА в продольной плоскости движения определяется решением кинематического уравнения

$$\dot{H} = V \sin(\vartheta - \alpha) = V \sin \Theta \quad (3)$$

Линеаризуя уравнение (3), получим:

$$\Delta \dot{H} = \Delta V \sin \Theta + V \Delta \Theta \cos \Theta \quad (4)$$

В результате интегрирование уравнения (4), получим:

$$\Delta H = \int_0^t (\Delta V \sin \Theta + V \Delta \Theta \cos \Theta) dt = \int_0^t \Delta V \sin \Theta dt + \int_0^t V \Delta \Theta \cos \Theta dt. \quad (5)$$

При небольших углах наклона траектории Θ и с учётом сближения БЛА с восходящим скатом рельефа уравнение (5) примет вид:

$$\Delta H = \int_0^t \Delta V (\Theta_0 - \lambda_B) dt + \int_0^t V \Delta \Theta dt \quad (6)$$

Изменение угла наклона траектории $\Delta \Theta$ определяется из решения дифференциального уравнения:

$$\dot{\Theta} = \frac{g}{V} (n_y - \cos \Theta). \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7) и учитывая, что выход на нормальную перегрузку n_y выполняется по аperiodическому закону с постоянной времени T (что свойственно всем современным БЛА), получаем:

$$\Theta = \int_0^t \frac{g n_y}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) dt. \quad (8)$$

Уравнение (8) в приращениях принимает вид:

$$\Delta \Theta = \int_0^t \frac{g \Delta n_y}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) dt. \quad (9)$$

Изменение высоты полёта БЛА относительно восходящего ската под воздействием перегрузки описывается следующим уравнением:

$$H = H_0 + \int_0^t \Delta V (\Theta_0 - \lambda_B) dt + \int_0^t V \Delta \Theta dt. \quad (10)$$

Принимая значение H_0 в качестве текущего значения высоты, измеренной радиовысотомером H_{PB} , а $\Delta V(\Theta_0 - \lambda_B)$ - в качестве текущего значения величины \dot{H}_{PB} , после выполнения интегрирования уравнения (10) получим:

$$H = H_{PB} + \dot{H}_{PB}t + g\Delta n_y \left[\frac{t^2}{2} - Tt + T^2 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right], \quad (11)$$

$$\frac{dH}{dt} = \dot{H}_{PB} + g\Delta n_y \left[t - T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right]. \quad (12)$$

Время достижения минимальной высоты H_{\min} определяется из условия

$$\frac{dH}{dt} = 0, \text{ то есть:}$$

$$\frac{t}{T} - \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = -\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T}. \quad (13)$$

Уравнение (11) с учётом уравнений (12, 13) принимает вид, удобный для практического использования:

$$H_{\min} = H_{PB} + \dot{H}_{PB}(t+T) + \frac{g\Delta n_y}{2} t^2 \quad (14)$$

Уравнение (14) не имеет аналитического решения. Поэтому для определения времени достижения минимальной высоты полёта используются методы аппроксимационного решения уравнения.

Например, время достижения минимальной высоты полёта БЛА Ту-243Д определяется выражением:

$$t = T \sqrt{-\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T B_2}}, \text{ при } -\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T} \leq B_3; \quad (15)$$

$$t = T \left(B_1 - \frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T} \right), \text{ при } -\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T} > B_3,$$

где $B_1 = 0,92$; $B_2 = 0,283$; $B_3 = 1,135$.

С учётом соотношений (15) уравнения (14) принимает вид:

$$\begin{aligned}
H_{\min} &= H_{PB} + \dot{H}_{PB}T[-B_4 + \sqrt{\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T B_2}}], \text{ при } -\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T} \leq B_3; \\
H_{\min} &= H_{PB} + \dot{H}_{PB}T - \frac{1}{2} \frac{\dot{H}_{PB}^2}{g\Delta n_y} + B_5 g\Delta n_y, \text{ при } -\frac{\dot{H}_{PB}}{g\Delta n_y T} > B_3,
\end{aligned}
\tag{16}$$

где $B_4 = 0,776$; $B_5 = 0,423$. где $B_4 = 0,776$; $B_5 = 0,423$

Уравнения (16) позволяют определять значения минимально допустимых безопасных высот БЛА при огибании рельефа с разными характеристиками, с учётом изменения скорости полёта БЛА и конкретных атмосферных условий.

Для удобства практического использования предложенная методика расчета минимально-допустимой безопасной высоты полета БСР «Рейс» представлена в виде совокупности графических зависимостей, посредством которых, без проведения сложных и трудоемких вычислений, определяется минимально-возможная безопасная высота полета БСР «Рейс» над рельефом в зависимости от температуры ($T, ^\circ\text{C}$) окружающего воздуха, характеристик рельефа (λ_B, h_B) и высоты основания рельефа (H_0) над уровнем моря (рисунок 2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Острославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. - М.: Оборонгиз, 1963, 430с.
2. Острославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Устойчивость и управляемость летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1965, 467с.
3. НПК-243. Управление траекторным движением. 1986, 102с.

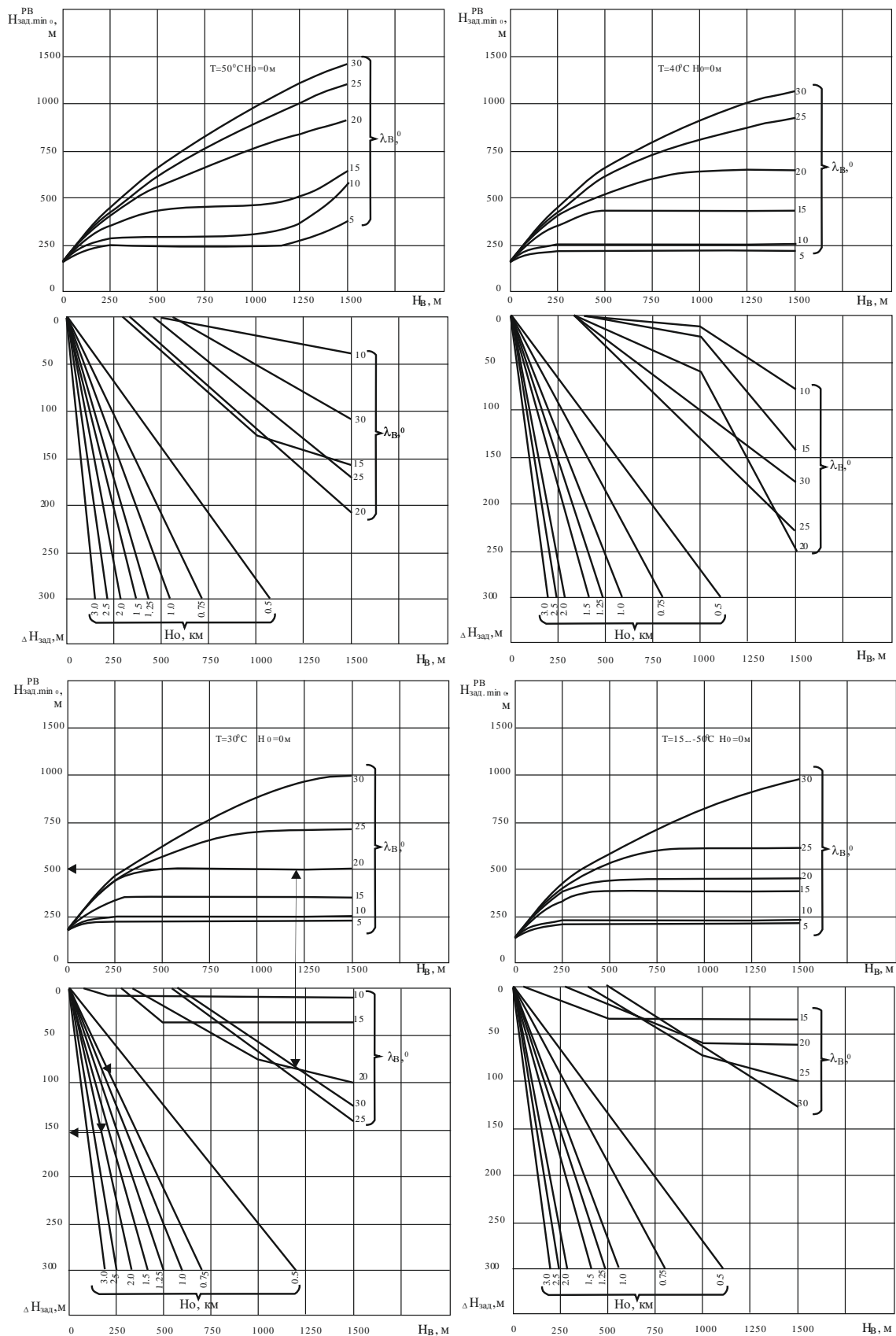


Рисунок 2 – Графики зависимости минимальной безопасной высоты полета БСР «Рейс» от высоты восходящих скатов, крутизны, высоты основания скатов над уровнем моря и температуры окружающего воздуха

Ю.Н. ОСИПОВ, кандидат военных наук, профессор,
ведущий научный сотрудник НИЦ Р ФГБУ
ВНИИПО МЧС России

В.И. ЕРШОВ, кандидат военных наук, доцент,
старший научный сотрудник НИЦ Р ФГБУ
ВНИИПО МЧС России

А.В. ИВАНОВ, начальник НИО разработки
авиационно-спасательных технологий НИЦ Р ФГБУ
ВНИИПО МЧС России

ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА И ОСНАЩЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЛА

Одним из основных элементов методического аппарата поддержки выбора рационального типа и оснащения комплексов с БЛА является аппарат ранжирования типов или вариантов исполнения комплексов по их эффективности. Так как эффективность комплексов оценивается не одним, а множеством показателей, то выбор опирается на математические методы многокритериальной оценки.

В результате анализа [1] ряда научных разработок определены общие математические методы многокритериальной оценки альтернатив, а также выявлен ряд частных методов ранжирования альтернатив. К ним относятся методы: максимальных расстояний, справедливого компромисса, главного критерия, лексикографической оптимизации, использования аппроксимационных и многокритериальных оптимизационных математических моделей, оценки и сравнения эффективности функционирования однотипных организаций, оценки качества средств на основе использования двух гипотетических эталонов – худшего и лучшего качества.

Анализ сущности выявленных частных методов показал следующее:

методы максимальных расстояний и справедливого компромисса по классификации фундаментальных теоретических разработок представляют собой, соответственно, метод выбора альтернативы по значениям функций полезности (функция полезности для различных частных задач представляется в своем специфическом виде) и метод попарных сравнений альтернатив со специальным способом расчета элементов матрицы;

методы главного критерия и лексикографической оптимизации (вариант метода главного критерия) представляют собой способ выбора лучшей альтернативы, основанный на сравнении значений одного показателя. При этом все показатели ранжируются и выбор производится по величинам приоритетного показателя. Если выбор по приоритетному критерию не сделан (из-за равенства значений показателя), то операция осуществляется по величинам следующего по значимости показателя;

остальные выявленные частные методы основаны на сравнении величин одного интегрированного критерия, рассчитываемых для каждой альтернативы с ис-

пользованием ее показателей и математической модели, принятой для решения стоящей задачи.

По результатам проведенного анализа определено, что специальный аппарат ранжирования типов комплексов с БЛА или вариантов оснащения можно представить тремя возможными подходами, основанными на применении:

глобального интегрального показателя эффективности;

метода главного критерия;

математических методов многокритериальной оценки: выбора альтернативы по значениям функций полезности, попарных сравнений альтернатив, взвешенных сумм и анализа иерархий.

Наиболее привлекательным для исследователей обычно является метод, основанный на применении глобального интегрального показателя эффективности. Однако, его реализация весьма ограничена. Это объясняется ограниченностью условий, при которых можно сформулировать обоснованный глобальный показатель, объединяющий множество частных показателей и имеющий вполне определенный физический или экономический смысл. Сделать это можно лишь в тех редких случаях, когда для конкретных условий в качестве глобального можно использовать один из частных или обоснованных интегральных показателей. Например, для случая, когда затратность ресурсов не является критичной (все альтернативы по данному фактору укладываются в установленные нормы), в качестве такого глобального показателя может выступить вероятность выполнения задачи.

В общем же случае сформулировать глобальный показатель не удастся. Например, как выразить общий глобальный показатель, отражающий желание добиться и наибольшей вероятности выполнения задачи, и наименьших затрат ресурсов.

Сущность метода главного критерия показана выше в пункте 2 при представлении результатов анализа сущности выявленных частных методов. Как уже отмечалось, суть метода состоит в сравнении значений одного показателя. Следует отметить, что реализация данного подхода требует проведения экспертных оценок ранжирования показателей по их значимости и обработки (усреднения) полученных экспертных ранжировок.

Под ранжировкой альтернатив понимается последовательность, которая несет информацию об упорядоченности альтернатив по их рангу (значимости, эффективности). При этом ранжировка может быть представлена:

либо в виде последовательности альтернатив, где место каждой альтернативы a_i в ранжировке определяется ее рангом k_i : $a_{i_1} \succ a_{i_2} \succ \dots \succ a_{i_n}$, где $k_{i_1} > k_{i_2} > \dots > k_{i_n}$;

либо в виде последовательности рангов альтернатив, где каждая альтернатива в ранжировке занимает свое постоянное место: (k_1, k_2, \dots, k_n) .

Наиболее предпочтительным является подход, основанный на применении математических методов многокритериальной оценки [2, 3], а в частности – метода анализа иерархий.

При реализации метода анализа иерархий составляются:

матрица решений X размерностью $m \times n$, элементами строк которой являются элементы векторов $\bar{x}_j = (x_{j1}, \dots, x_{jn})$ нормированных весов оценки альтернатив a_i , $i = 1, \dots, n$, определенные для каждого показателя k_j , $j = 1, \dots, m$:

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \vdots \\ \bar{x}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_{11}, \dots, x_{1n}) \\ \vdots \\ (x_{m1}, \dots, x_{mn}) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} = X;$$

Вектор-строка \bar{W}' нормированных весов показателей размерностью m .

Рассчитывается вектор функций полезности альтернатив $\bar{U} = \bar{W}' X$.

Наилучшей объявляется та альтернатива, для которой элемент u_i вектора функции полезности $\bar{U} = (u_1, \dots, u_n)$ имеет максимальное значение:

$$a_{i_1} \succ a_{i_2} \succ \dots \succ a_{i_n}, \text{ где } u_{i_1} > u_{i_2} > \dots > u_{i_n}.$$

Вектора нормированных весов оценки альтернатив \bar{x}_j и нормированных весов показателей \bar{W}' определяются с использованием метода попарных сравнений. При этом в основу формирования векторов \bar{x}_j ложатся результаты попарных сравнений фактических значений показателей эффективности, вектора \bar{W}' – результаты обработки (усреднения) экспертных оценок весов этих показателей.

Суть метода попарных сравнений заключается в следующем.

Вес каждого показателя или альтернативы при использовании этого метода определяется с использованием следующих формул:

для аддитивной модели:

$$w_i = \sum_{j=1}^m z_{ij},$$

где z_{ij} – результаты сравнения показателя k_i с показателем k_j . Эти результаты определяются исходя из следующего:

$z_{ij} = 1$, если $k_i \succ k_j$ – при парном сравнении принято, что показатель k_i важнее показателя k_j ;

$z_{ij} = 0$, если $k_i \prec k_j$ – показатель k_i менее важный, чем показатель k_j ;

$z_{ij} = 0.5$, если $k_i \approx k_j$ – показатели k_i и k_j по важности примерно одинаковы;

$z_{ii} = 0,5$ (при $j = i$);

$z_{ij} = 1 - z_{ji}$;

мультипликативной модели:

$$w_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m z_{ij}},$$

где z_{ij} – результаты сравнения показателя k_i с показателем k_j . Эти результаты определяются исходя из следующего:

$z_{ij} = 1$, если при парном сравнении принято, что показатель k_i эквивалентен по значимости показателю k_j ;

$z_{ij} = 3$, если k_i значимее k_j ;

$z_{ij} = 5$, если k_i существенно значимее k_j ;

$z_{ij} = 7$, если k_i абсолютно значимее k_j ;

$z_{ij} = 9$, если k_i несомненно, безусловно значимее k_j ;

значения $z_{ij} = 2, 4, 6, 8$ считаются промежуточными для основных словесных градаций качества;

$z_{ii} = 1$ (при $j = i$);

$z_{ij} = 1/z_{ji}$.

Если попарные сравнения производились в рамках экспертной оценки весов показателей эффективности, то конечный результат может быть представлен двумя вариантами, каждый из которых используется при дальнейшей реализации двух различных методов обработки экспертной информации [4, 5] в виде:

экспертного вектора весов показателей эффективности комплекса с БЛА. В дальнейшем при обработке экспертной информации он используется при реализации метода медиан рангов;

экспертной матрицы попарных сравнений показателей. При обработке экспертной информации она используется для аддитивной модели при реализации метода медиан Кемени.

При реализации метода медиан рангов индивидуальные оценки рангов, выполненные всеми экспертами, по каждому варианту исполнения комплекса с БЛА записываются в порядке неубывания. Для каждого комплекса определяется значение ранга, расположенное на центральном месте полученной последовательности. Это число и является медианой рангов вариантов исполнения комплекса.

Если количество экспертов составляет четное число, то имеет место два центральных места последовательностей. В этом случае медиана определяется как значение ранга, расположенное на одном из этих мест, но не среднее арифметическое, среднее геометрическое и т. д. Далее все альтернативы ранжируются по возрастанию величины медианы рангов, в результате получается обобщенная ранжировка – последовательность, в которой предыдущий комплекс имеет предпочтение для выполнения стоящей задачи, чем последующие. Комплексы с одинаковой величиной медианы составляют кластер.

К основным математическим объектам теории метода медиан Кемени, относятся: матрица бинарных отношений, расстояние Кемени между бинарными отношениями, медиана Кемени.

Результаты попарного сравнения представляются матрицами, имеющими вид турнирной таблицы, в которой предпочтение отмечается единицей, уступка в предпочтении – нулем и эквивалентность – числом 0.5. Построение матрицы би-

нарных отношений для матрицы попарных сравнений заключается в замене всех значений 0.5 на 1.

Расстояние Кемени между бинарными отношениями, описываемыми матрицами M_1 и M_2 , – это число $D(M_1, M_2)$, равное числу несовпадений значений одноименных (по номерам строк и столбцов) элементов матриц.

Медиана Кемени для множества матриц M_1, \dots, M_n бинарных отношений размером $k \times k$ – это такая матрица M бинарных отношений размером $k \times k$, для которой сумма расстояний Кемени между ней и всеми матрицами множества достигает минимума.

$$M = \text{Arg} \min \sum_{i=1}^n D(M_i, M).$$

Принимается, что медиана Кемени M представляет собой эмпирическое среднее для множества матриц бинарных отношений M_1, \dots, M_n .

Для рассматриваемого случая нахождение медианы Кемени осуществляется по правилу большинства. Согласно этому правилу, если в одноименных клетках матриц бинарных отношений, описывающих мнения всех привлекаемых экспертов, единиц больше половины, то в обобщенной матрице ставится 1; аналогично для нулей; если – ровно половина, то можно ставить либо 0, либо 1 при условии, что в симметричных относительно главной диагонали клетках хотя бы в одной была единица. В целях обеспечения однозначности определения медианы Кемени для этого случая предлагается ставить 1, если в клетке, ей симметричной относительно главной диагонали, единиц также ровно половина, в противном случае – 0.

Построение обобщенной матрицы попарных сравнений осуществляется путем установки в матрице-медиане Кемени значений, равных 0.5, в клетках, симметричных относительно главной диагонали, если значения в обеих клетках равны единице.

В соответствии с изложенным порядок нахождения обобщенной матрицы P попарных сравнений для множества P_1, \dots, P_n следующий:

для множества P_1, \dots, P_n строится множество M_1, \dots, M_n матриц бинарных отношений;

для множества M_1, \dots, M_n находится медиана Кемени M ;

для матрицы M формируется обобщенная матрица P попарных сравнений. Ее построение заключается в замене единиц на величину 0.5 для тех элементов m матрицы M , для которых $m_{ij} = m_{ji} = 1$;

с использованием матрицы P и формулы для аддитивной модели метода попарных сравнений составляется усредненная ранжировка показателей.

Таким образом, следует сделать следующие выводы.

Специальный аппарат ранжирования типов комплексов с БЛА или вариантов их оснащения можно представить в соответствии с тремя возможными подходами, основанными на применении:

глобального интегрального показателя эффективности;

метода главного критерия;

математических методов многокритериальной оценки.

Наиболее предпочтительным является подход, основанный на применении такого математического метода многокритериальной оценки, как метод анализа иерархий.

Реализация метода анализа иерархий предполагает расчет матрицы решений и вектора ранжировки показателей эффективности, полученного на основе обработки субъективных мнений экспертов. Все это, в свою очередь, предполагает использование метода попарных сравнений:

весов показателей эффективности для получения их экспертных ранжировок; комплексов с БЛА по значениям каждого из показателей эффективности для получения матрицы решений.

Для обработки экспертной информации о весах показателей эффективности следует использовать метод медиан рангов и метод медиан Кемени.

Для практической реализации метода анализа иерархий в целом требуется осуществление большого количества вычислений, что может быть успешно выполнено при использовании вычислительной техники и соответствующей автоматизированной информационной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о проведении патентных исследований по направлениям разработки методики выбора рационального типа ВРК с БЛА для пожаротушения и ведения АСДНР при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / Савин М.В., Ершов В.И., Шентяпина М.А. // Разработка тактико-технических требований к беспилотным летательным аппаратам, принимаемым на вооружение в МЧС России, шифр «Беспилотник» / Савин М.В., Осипов Ю.Н. и др.: Итоговый отчет о НИР. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО, 2015.
2. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
3. Саати Т. Принятие решений – Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1973. – 161 с.
5. Орлов А.И. Эконометрика: Учебник для вузов. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004. – 576 с.

К.А. ЗЛОТНИКОВ, доктор технических наук,
профессор, заместитель директора СПб Ф АО
«Концерн «Вега»

А.Г. КОНДРАТЕНКО, кандидат военных наук,
начальник отдела СПб Ф АО «Концерн «Вега»

О.И. САВЧЕНКО, кандидат исторических наук,
доцент, заместитель начальника отдела СПб Ф АО
«Концерн «Вега»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УНИФИЦИРОВАННОГО УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ БОЕВЫХ РАСЧЕТОВ НАЗЕМНЫХ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ С БЛА И АКТУАЛЬ- НЫЕ ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНОЙ ТЕХНИКИ

Комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) широко используются для наблюдения за объектами и территориями, обеспечения безопасности, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Область применения этих комплексов стремительно расширяется. Эффективность и безопасность их работы в значительной степени зависит от качества подготовки операторов наземных пунктов управления (НПУ).

Для снижения затрат на обучение и поддержание навыков операторов без проведения пусков БЛА необходимо широко использовать автоматизированные средства подготовки. Обучать надо как отдельных операторов, так и расчеты комплексов в целом. Эти задачи и решает автоматизированная система подготовки операторов, созданная специалистами АО «Концерн «Вега». Как показали результаты ее эксплуатации, она обеспечивает повышение уровня одиночной подготовки и слаженности боевых расчетов в целом. Это достигается на основе использования виртуальной информационной среды боевого применения БЛА, реализованной на основе единого банка данных геопространственной информации и моделей фоно-целевой обстановки.

В основу автоматизированной обучающей системы положен унифицированный учебно-тренажерный комплекс (УУТК) подготовки боевых расчетов НПУ комплексов с БЛА. Предусмотрена возможность взаимодействия процедурных тренажеров управления БЛА различных типов с элементами автоматизированной обучающей системы при решении задач обучения по согласованным протоколам.

В состав УУТК входят:

унифицированный программно-аппаратный комплекс разработки, формирования и моделирования виртуальной информационной среды боевого применения комплексов с БЛА (УПАК-ВИС);

унифицированный программно-аппаратный комплекс учебного класса (УПАК-УК);

тренажер подготовки боевого расчета наземного пункта управления (Т-НПУ) для конкретного типа комплекса с БЛА.

Автоматизированная обучающая система 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.

Работа автоматизированной обучающей системы осуществляется 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 обрабатываемых 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 обучающей системы позволяет 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.

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.

Как правило, в современных тренажерах используется одна модель виртуальной реальности, которую создает разработчик во время проектирования тренажера. В разработанной АО «Концерн «Вега» автоматизированной системе подготовки операторов в отличие от существующих тренажерных средств преподаватели могут самостоятельно создавать модели районов местности для обучения. Это обеспечивает возможность предполетной подготовки 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 обучающая система 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.

Таким образом, автоматизированная обучающая система обеспечивает 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.

А.В. ИЗВОЛЬСКИЙ, начальник отдела
ООО «ОКБ УЗГА» (г. Екатеринбург)
А.А. ПЬЯННИКОВ, главный конструктор
ООО «ОКБ УЗГА» (г. Екатеринбург)

ДООСНАЩЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ С БЛА МОБИЛЬНЫМ ТЕРМИНАЛОМ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ, ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ И СЦЕНАРИЕВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.

В рамках одной из НИР выполненных в 2015 году в интересах Министерства обороны РФ ООО «ОКБ УЗГА» совместно с АО «УЗГА» был разработан образец мобильного терминала приема информации. Данная разработка позволила существенно расширить возможности комплекса с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) средней дальности за счет добавления в комплекс дополнительного канала передачи видовой и телеметрической информации с борта БЛА и мобильного устройства для её приема, обработки и отображения. Образец изделия был представлен широкой публике на выставках Армия-2015 и RAЕ-2015.

Разработанное изделие предназначено для обеспечения расширенной информационной поддержки мобильных групп, выполняющих оперативные задания на местности. Комплекс является автономным, не использующим основной канал связи, легко встраиваемым в состав любого комплекса с БЛА.

В рамках реализации требований назначения изделие выполняет следующие функции:

- комплексирование на борту видовой и телеметрической информации и передача на землю.

- прием и отображение видовой и телеметрической информации с борта БЛА; работа с картографической информацией в формате SXF, принятом в МО РФ, на мобильном терминале;

- подготовка разведывательных донесений на основе полученной с борта БЛА видовой и телеметрической информации;

- отправка подготовленных разведывательных донесений получателю посредством носимого комплекта изделия 83т215 из состава КРУС "Стрелец".

Изделие состоит из следующих составных частей:

Бортовой сегмент:

- передатчик радиолинии Радиус-О с усилителем (выходная мощность 5 Вт) и блоком питания;

- блок подготовки телеметрической информации на базе вычислителя СРС307.

- передающая всенаправленная антенна, устанавливаемая на нижнюю часть фюзеляжа БЛА.

Носимый комплект:

- индикаторное устройство на базе планшета Гранат 12 отечественного производства;

приемный блок, содержащий приемник радиолинии Радиус-О, приемник СНС GPS/ГЛОНАСС, блок питания, устройства сопряжения;

аккумуляторный блок, содержащий зарядное устройство (220 Вольт) и свинцово-кислотный аккумулятор 12В 12А*ч;

антенный блок, содержащий направленную и всенаправленную антенны радиолинии, а так же антенну СНС GPS/ГЛОНАСС.

Оборудование носимого комплекта размещается в 40-литровом вещевом мешке с наплечной жесткой рамой для повышения удобства транспортировки. Внешний вид носимого комплекта изделия с вещевым мешком представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид носимого комплекта с вещевым мешком

В таблице 1 приведены тактико-технические характеристики разработанного изделия.

Т а б л и ц а 1 – ТТХ образца мобильного терминала

Характеристика	Значение	Примечание
Масса носимого комплекта	14,5 кг	
Масса бортового сегмента	3,5 кг	
Время автономной работы	Не менее 4 часов	
Дальность связи, при наличии прямой радиовидимости	Не менее 20 км	Фактически сигнал стабильно принимается на расстоянии 45 км.
Интерфейс сопряжения со внешними системами	Ethernet, 100MBit	Используется для связи с носимым комплектом 83Т215
Операционная система индикаторного устройства	Astra Linux Special Edition	
Поддерживаемые системы координат	СК-42, ПЗ-90, UTM, WGS-84	Системы координат СК-42 и ПЗ-90 используются для отображения геопривязанной информации.
Напряжение питания бортово-	28 Вольт	

Характеристика	Значение	Примечание
го оборудования		
Формат видеопотока	PAL	Возможно подключение источников в формате NTSC, SDI.
Интерфейс источника телеметрической информации	RS-422	Возможно подключение источников с интерфейсом UART, Ethernet.

На момент публикации доклада мобильный терминал прошел типовые испытания в составе доработанного комплекса с БЛА средней дальности. Оборудование поставлено на серийное производство под контролем Военного Представительства. Таким образом, выполнив дооснащение комплекса получен качественный задел в проектировании, изготовлении и интеграции законченных систем в БЛА, что в свою очередь открывает возможности интеграции компонентов данного изделия в любые летательные аппараты, способные нести на себе дополнительную полезную нагрузку.

В процессе разработки мобильного терминала была детально исследована структура и принцип работы подсистем, КБО БЛА средней дальности и усовершенствованной наземной станции управления (УНСУ), входящих в состав комплекса. Получены и проанализированы мнения людей, непосредственно занимающихся эксплуатацией комплексов с БЛА в войсках. В результате у ОКБ УЗГА появился ряд предложений по дальнейшей доработке комплексов с БЛА. Предложения направлены на расширение функционала доработанных комплексов для более эффективного решения актуальных задач, стоящих перед Вооруженными Силами РФ.

Как уже говорилось ранее, в доработанном комплексе реализован прямой канал передачи видовой и телеметрической информации с борта БЛА на мобильный терминал. С одной стороны эта доработка позволила полностью исключить зависимость пользователя мобильного терминала от штатных каналов связи между УНСУ и БЛА. С другой стороны прямой однонаправленный радиоканал не позволяет производить полnodуплексный обмен информацией между оператором мобильного терминала и оператором УНСУ, что в ряде случаев может быть востребовано пользователями системы (например, обмен голосовыми сообщениями, короткими текстовыми сообщениями, передача формализованных пакетов информации между средствами вычислительной техники, входящими в состав доработанного комплекса).

Выполненная конструкция носимого комплекта и бортового сегмента позволяет решить проблему отсутствия обратной связи от мобильного терминала до УНСУ путем дополнения обеих составных частей изделия радиомодемами с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ). Обратная связь через радиомодем с ППРЧ позволяет пользователям изделия обмениваться формализованными, голосовыми и простыми текстовыми сообщениями с УНСУ в прямом и обрат-

ном направлении, находясь на удалении до 360 км от УНСУ (расстояние складывается из максимальной зоны действия штатной радиолинии УНСУ-БЛА в 250 км и дальности действия радиомодема с ППРЧ «Редут» в 110 км). На рисунке 2 приведена схема возможного дооснащения комплекса дополнительным оборудованием, новые элементы помечены пунктирной линией.

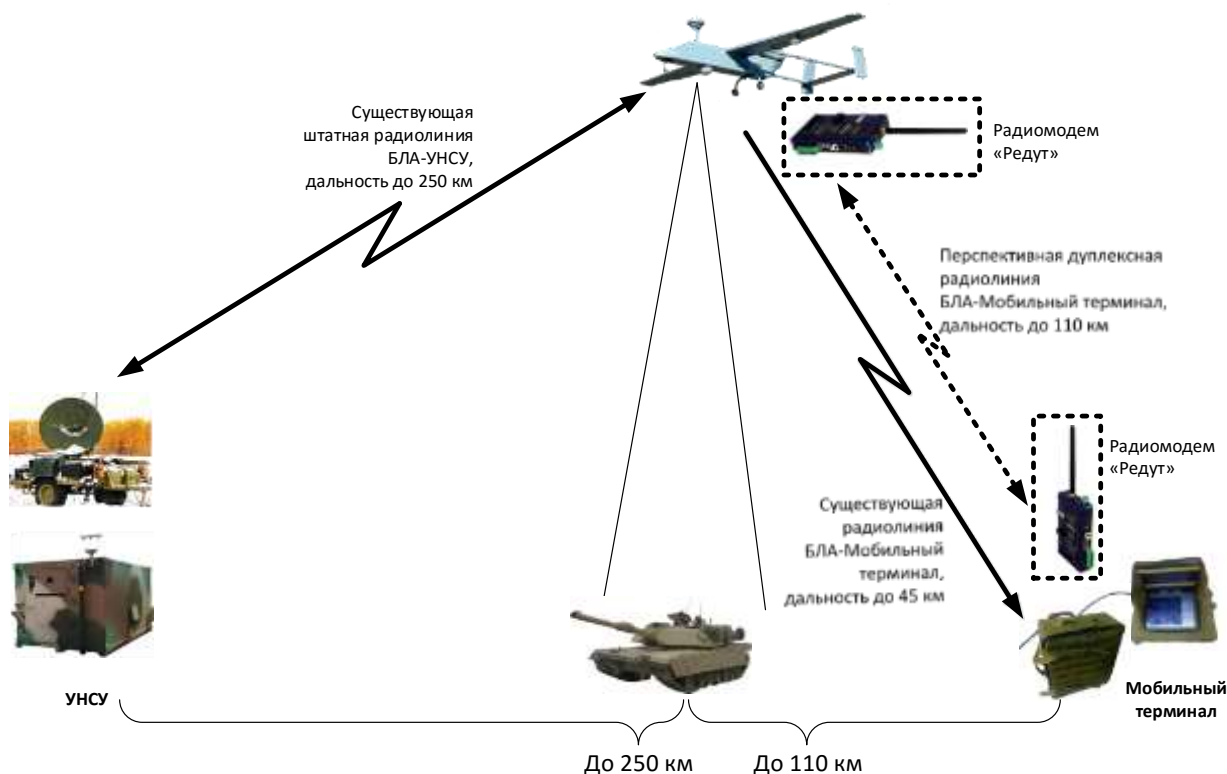


Рисунок 2 – Схема возможного дооснащения комплекса с БЛА дополнительной полнодуплексной связью

Для оценки возможности реализации функционала обратной связи силами ОКБ УЗГА проведены следующие предварительные мероприятия:

подтверждение дальности связи через радиомодем с ППРЧ «Редут» выполнено в первом квартале 2015 года. Комплект бортового оборудования, будучи установленным на пилотируемый летательный аппарат Diamond DA-42 показал стабильное качество сигнала на удалении до 110 км.

проведена оценка возможности трансляции данных со скоростью до 9600 бод через штатную радиолинию между БЛА средней дальности и УНСУ. Практически подтверждено наличие режима связи в базовом и доработанном комплексе, подходящего для передачи информации между бортовым радиомодемом и локальной вычислительной сетью (ЛВС) УНСУ.

в рамках решения задачи по доработке комплексов с БЛА проведена проработка конструктивного размещения дополнительного оборудования на борту воздушного судна, выявлены точки подключения к бортовой ЛВС и к сети питания 28 Вольт. Таким образом решен вопрос о возможности установки дополнительного оборудования на борт БЛА.

проанализирован существующий функционал одного из рабочих мест в УНСУ, сделан вывод о возможности расширения функционала данного рабочего места без внесения значительных конструктивных изменений в УНСУ.

Подытоживая результаты проведенных предварительных мероприятий, можно констатировать подтвержденную возможность организации сквозной линии связи между оператором мобильного терминала через БЛА с оператором УНСУ, наличие технической возможности дооснащения БЛА средней дальности радиомодемом с ППРЧ и возможность расширения функционала рабочего места в УНСУ путем разработки соответствующего программного обеспечения.

Учитывая опыт доработки комплексов с БЛА средней дальности и имеющиеся ресурсы, ООО «ОКБ УЗГА» готово выполнить соответствующее расширение функционала доработанного комплекса за 6 месяцев при наличии подтвержденной заинтересованности заказчика.

Непрерывно передаваемая с борта БЛА телеметрическая информация содержит в себе множество параметров, меняющихся в реальном времени, таких как координаты БЛА в пространстве, углы склонения ОЭС, угол поля зрения камеры и др. Индикаторное устройство мобильного терминала, получая телеметрическую информацию с борта и имея возможность геопривязки в системах СК-42 и ПЗ-90 производит автоматический расчет проекции поля зрения ОЭС на земную поверхность с учетом матрицы высот. Рассчитанная в реальном времени проекция отображается оператору мобильного терминала на фоне загруженной в устройство карты местности.

Выполненное в рамках технического задания изделие получило дополнительный функционал, который позволяет проводить визуальную оценку расстояния между объектами на кадре с использованием привязанной к видеопотоку телеметрии. В качестве возможного применения расширенного функционала видится сценарий корректировки огня артиллерии непосредственно на расчете орудия.

Следует отметить, что возможность определения расстояния между объектами по видеопотоку существует в базовом варианте комплекса с БЛА, но этот функционал жестко привязан к рабочему месту оператора в УНСУ комплекса. Для описываемой доработки положительный эффект заключается в выносе расчетных операций из УНСУ комплекса и сокращению количества информационных звеньев в цепи между наводчиком орудия и лицом, оценивающим точность попадания снаряда. Тем самым организуется временный ударный контур на расчете орудия.

На рисунке 3 приведен пример экранного интерфейса мобильного терминала, предоставляющего пользователю возможность оценки расстояния между объектами по данным поступающей телеметрической и видовой информации.

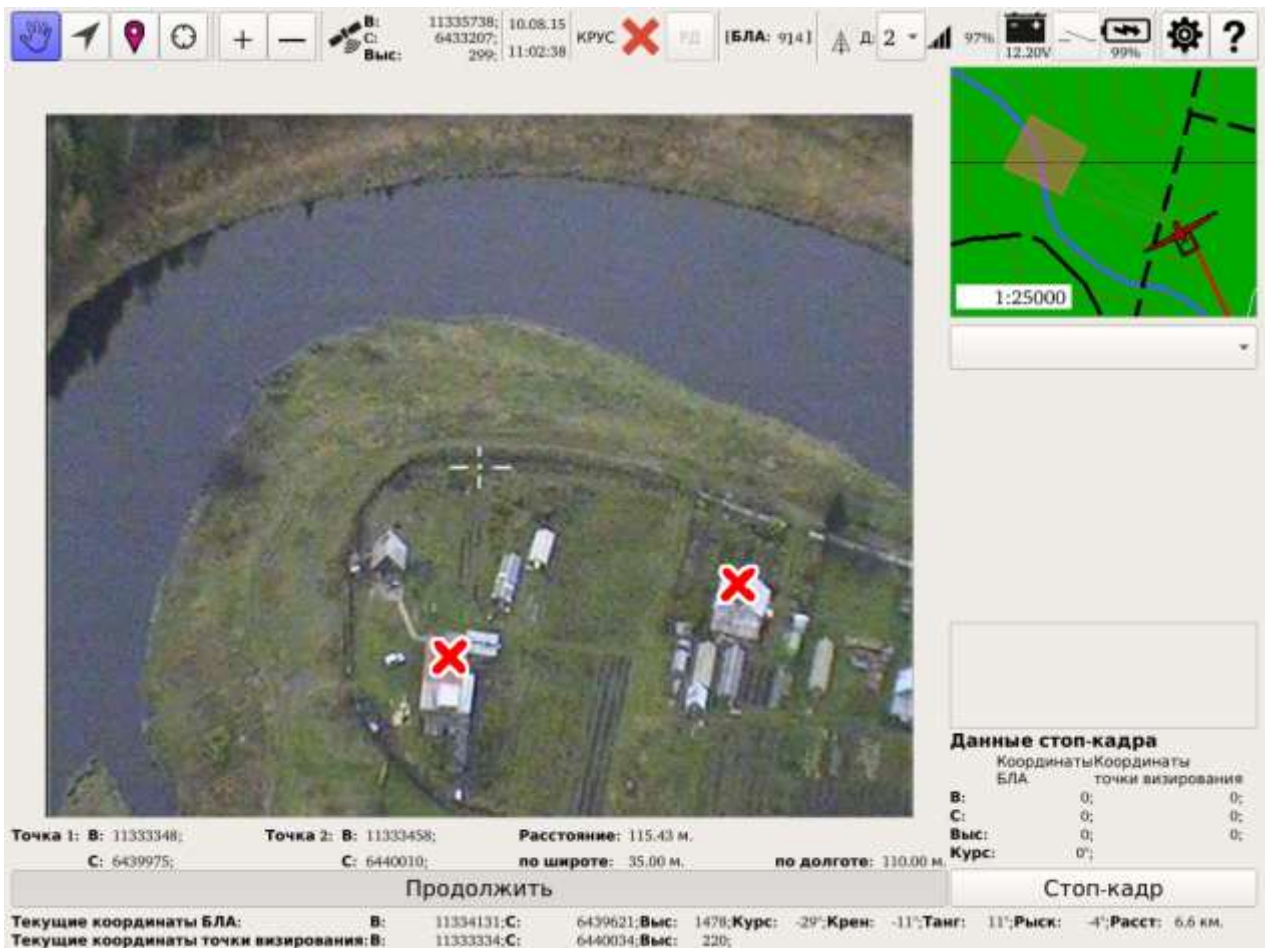


Рисунок 3 – Пример экранного интерфейса мобильного терминала

Для использования мобильного терминала в данном сценарии предполагается выполнение следующих шагов и условий:

орудие располагается на расстоянии не более 45 км от цели. Расстояние обусловлено дальностью радиолинии между БЛА и мобильным терминалом.

расчет орудия обеспечивается одним комплектом наземного оборудования мобильного терминала.

при работе орудия по цели над зоной боевых действий выполняет полет БЛА с установленным комплектом радиопередающего оборудования, подключенного к ОЭС и источнику телеметрии.

управление БЛА ведется штатно из УНСУ, находящегося на безопасном расстоянии от зоны боевых действий. Оператор полезной нагрузки в УНСУ обеспечивает видимость цели и места разрывов снарядов в нисходящем видеопотоке.

должностное лицо расчета орудия, получая на экран мобильного терминала видовую информацию с БЛА, содержащую место разрыва и цель на одном кадре, производит автоматизированный подсчет ошибки наведения в метрах и передает требуемую поправку наводчику орудия в реальном времени.

Выполнение приведенного сценария может увеличить эффективность корректировки огня за счет оценки точности попадания непосредственно расчетом, находящимся на орудии. Предложенный сценарий может быть адаптирован по ре-

зультатам эксплуатации изделия, программное обеспечение мобильного терминала так же может быть доработано под уточненные требования при заинтересованности заказчика в развитии данного функционала в одной из последующих работ Опытного-конструкторского бюро Уральского Завода Гражданской Авиации.

В.И. ИЩУК, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИЦ ЦНИИ ВВС МО РФ (г. Санкт-Петербург)

С.А. МОЧАЛОВ, доктор технических наук, старший научный сотрудник НИЦ ЦНИИ ВВС МО РФ (г. Санкт-Петербург)

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ВМФ

В последнее время все более широкое развитие получает применение комплексов с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА). Не является исключением и морской театр военных действий (МТВД). Хотя масштабы применения КБЛА на море несколько отстают от масштабов использования беспилотных ЛА на сухопутном ТВД, многообразие задач морских КБЛА и преимущества последних в их решении не дают повода усомниться в необходимости наращивания такого применения.

Надо отметить, что проведенный анализ имеющихся разработок КБЛА показал их существенное разнообразие [1]. Причем, такого количества вариантов внешнего вида, особенностей конструкции нет ни у одного другого изделия в авиации. Не является исключением и используемая в составе КБЛА радиоэлектронная и оптикоэлектронная аппаратура. На наш взгляд такое многообразие свидетельствует о преимущественно эвристическом подходе в проектировании КБЛА, отсутствии или недостаточном развитии методологического аппарата оптимизации их технического облика. Отсутствие четких ориентиров и критериев построения оптимального КБЛА приводит к распылению усилий и финансовых средств, не позволяет сосредоточиться на создании действительно высокоэффективных изделий.

Итак, основные задачи, решения которых требует применения КБЛА на МТВД: разведка и освещение обстановки, радиоэлектронная борьба, ретрансляция сигналов управления и передачи информации, нанесение ударов по кораблям и береговым объектам, противолодочная борьба. Каждая из задач может отличаться масштабами: так разведка может быть стратегической, оперативно-тактической, тактической, что сказывается на требованиях к дальности полета, времени нахождения на рубеже и т.д. Формирование задач и требований к КБЛА ВМФ – первый шаг к обоснованию их технического облика.

Второй шаг – генерация альтернативных вариантов комплексов, в первом приближении удовлетворяющих сформированным требованиям, в том числе на основе имеющихся разработок. Надо отдать должное разработчикам – они подготовили богатый материал, чтобы делать основополагающие выводы, например, какая схема и для решения каких задач лучше.

Третий шаг – сравнение альтернатив и выбор наилучшей из них.

Выше перечислены три известные [2] страты синтеза сложной системы, которые необходимо развивать и наполнять соответствующим КБЛА содержанием. При этом необходимо учитывать специфику применения КБЛА на море. Например, если говорить о применении БЛА с надводного корабля (НК), то проблематичным представляется посадка БЛА самолетной схемы на корабль базирования. На море отсутствуют ориентиры, в связи с этим коррекция местоположения БЛА по ориентирам невозможна. Организованные помехи бортовому радиоэлектронному оборудованию (РЭО) БЛА будут создаваться с кораблей или летательных аппаратов, то есть, скорее всего, будут сосредоточены в пространстве. Еще одна особенность функционирования – особые фоновые условия: относительно однородная, как правило, взволнованная и часто меняющая свое состояние морская поверхность. В свою очередь, характер обнаруживаемых целей весьма разнороден. Здесь и воздушные высокоскоростные цели с малым значением эффективной поверхности рассеяния (ЭПР), и НК с большой величиной ЭПР, и подводные лодки (ПЛ) в подводном и надводном положении, и выдвижные устройства ПЛ, и наземные береговые цели. Маловероятна угроза поражения БЛА с произвольных направлений, что характерно для сухопутного ТВД и т.д.

Попробуем разобраться со структурой и решаемыми задачами подсистем РЭО КБЛА, применив к нему известные [3,4] принципы построения аппаратуры: «унификации», «базовости», «модульности», «сетцентричности».

Принцип унификации предполагает создание единой аппаратуры для БЛА различного типа и назначения. Но полная унификация невозможна и нецелесообразна. Опыт разработки показывает, что рациональное решение, как всегда, находится посередине: в качестве универсальной следует рассматривать резидентную базовую часть комплекса. Принцип базовости лежит в основе построения базового интегрированного РЭО (БИ РЭО) и предполагает создание общего ядра (платформы) с возможностью формирования на его основе различных модификаций в соответствии с предназначением БЛА.

Принцип модульности заключается в построении БИ РЭО на основе отдельных модулей. Они должны быть унифицированными (взаимозаменяемыми), наращиваемыми, легко устанавливаемыми, ремонтпригодными. Это позволит повысить удобство эксплуатации и ремонта, обеспечит открытость архитектуры, а значит возможность изменения состава оборудования в многоцелевых комплексах различного назначения, что, в свою очередь, явится непременным условием получения открытости архитектуры, то есть возможности относительно простого оснащения комплекса новой аппаратурой по мере ее разработки. Применением сменных модулей обеспечивается адаптация БИ РЭО к каждому БЛА и каждой решаемой задаче.

Принцип сетцентричности состоит в обеспечении возможности применения БЛА, оснащенного БИ РЭО, в сетцентрических системах.

Одной из важных особенностей КБЛА является наличие двух подсистем РЭО: «бортовой подсистемы», размещенной на борту БЛА, и «стационарной под-

системы», размещенной на «относительно стационарном» пункте управления (ПУ): корабле, авиационном носителе, земле.

«Бортовая подсистема» должна включать в свой состав базовую резидентную (постоянную, не изменяемую) часть и набор сменных модулей. Исходя из принципа унификации, как отмечено выше, базовая часть должна быть максимально унифицируемой. В базовую часть должны войти три основные системы: управления, связи, навигации.

Перечень решаемых задач БЛА должны обеспечивать сменные модули:

разведки (РЛС, станция РТР, ОЭС);

РЭБ (в разных частотных диапазонах и разной мощности);

ретрансляции сигналов;

оружие;

гидроакустическая, магнитометрическая аппаратура обнаружения ПЛ.

«Стационарная подсистема» изначально является базовой (постоянной, не изменяемой) и должна включать в свой состав следующие системы: управления, отображения, связи.

Бортовая и стационарная системы связи должны обеспечивать помехозащищенную радиосвязь и передачу данных между БЛА и пунктом управления.

Стационарная система отображения должна обеспечивать интерфейс оператора при управлении, контроле БЛА и получении информации от бортовых средств.

Бортовая система навигации должна включать в свой состав инерциальную (для обеспечения автономности действий) и спутниковую (для обеспечения необходимой точности местоопределения) подсистемы и будет обеспечивать формирование навигационной информации для управления БЛА.

Бортовая и стационарная управляющие системы должны обеспечивать обработку добываемой информации, формирование команд управления полетом и режимами работы БЛА, контроль функционирования аппаратуры.

Ввиду существенного влияния на эффективность, представляется необходимым обеспечение рационального распределения функций управления между бортовой и стационарной системами управления КБЛА. Так, повышение возможностей бортовой системы управления по обработке добываемой информации снижает нагрузку на систему связи, так как передаваться в этом случае будут уже обработанные данные, сокращает время на принятие решений, но допускает увеличения ошибочных решений. Эти последствия всегда характерны для систем с большим уровнем автономности. Централизация приводит к обратному эффекту. По-видимому, существует оптимум распределения функций обработки информации, причем в различных условиях обстановки и для различных решаемых задач положение оптимума будет меняться.

Теперь о функциях непосредственного управления действиями БЛА. Аналогично, повышение количества и качества решаемых задач бортовой системой управления приводит к тем же последствиям и также подлежит оптимизации.

Можно сделать полностью автономный БЛА, который будет решать все задачи самостоятельно в автоматическом режиме. Но, несомненно, особенно в условиях противодействия, возрастет количество ошибок в действиях БЛА. Кроме того, сложно запрограммировать все возможные ситуации и варианты изменения обстановки.

В связи с изложенным, представляется важным построение гибкой адаптивной системы перераспределения функций управления. Кроме перераспределения функций управления система управления должна иметь возможность формировать подсказки оператору по наиболее целесообразным действиям в складывающейся обстановке, то есть включать в свой состав экспертную систему принятия решения. В свою очередь бортовые информационные датчики (РЛС, станция РТР, ОЭС) должны обеспечивать экспертную систему необходимой информацией об изменяющейся обстановке, а система связи обеспечивать передачу этих данных оператору.

Перечисленные элементы бортового оборудования (система связи, спутниковая навигация, система управления) должны обеспечивать выполнение и требования «сетевцентричности», то есть возможности работы в сетевцентрических системах. Работа сети из нескольких БЛА имеет несомненные преимущества. Так, например, для обеспечения скрытности БЛА используют пассивные методы обнаружения целей с помощью аппаратуры РТР, определяют координаты целей по пересечению пеленгов, или БЛА-носитель управляемого оружия осуществляет его применение по данным от другого БЛА, находящегося в непосредственной близости от цели и т.д.

Если учесть, что сетевцентричность понимается как функционирование БЛА в едином информационном и координатном пространстве одновременно в качестве управляющего и подчиненного элемента системы, источника информации и его потребителя, для обеспечения такой возможности БИ РЭО должен удовлетворять следующим требованиям. Система связи должна включать устройства, обеспечивающие широкополосную защищенную помехоустойчивую радиосвязь с многостанционным доступом, кодеры и декодеры сигналов различных основных корреспондентов. Бортовая аппаратура спутниковой навигации должна иметь возможность работы с отечественной навигационной системой «ГЛОНАСС». Система управления должна иметь аппаратуру и программное обеспечение позволяющие осуществлять совместную обработку информации, получаемой как бортовыми средствами, так и поступающей извне, автоматически и автоматизировано принимать решения, исходя из складывающейся ситуации как по собственным действиям, так и в соответствии с действиями подчиненных объектов, решать задачи по перераспределению располагаемых временного, энергетического, частотного ресурсов.

Обеспечение выполнения данных требований позволит организовать работу сети из нескольких БЛА. Пункт управления управляет этой сетью и получает данные

либо от каждого, либо от головного БЛА. В зависимости от задачи и условий организация сети может и должна реконфигурироваться. Головной БЛА может не только собирать информацию от «соисполнителей», но и управлять ими. Реконфигурация сети, перераспределение зон ответственности и назначение головного БЛА может и должно осуществляться на ПУ. Важнейшее место для обеспечения работы сети БЛА играют вопросы обеспечения электромагнитной совместимости РЭО, назначение рабочих частот РЛС, аппаратуры РТР, систем связи. Структурная схема бортового и стационарного РЭО системы нескольких БЛА приведена на рисунке 1.

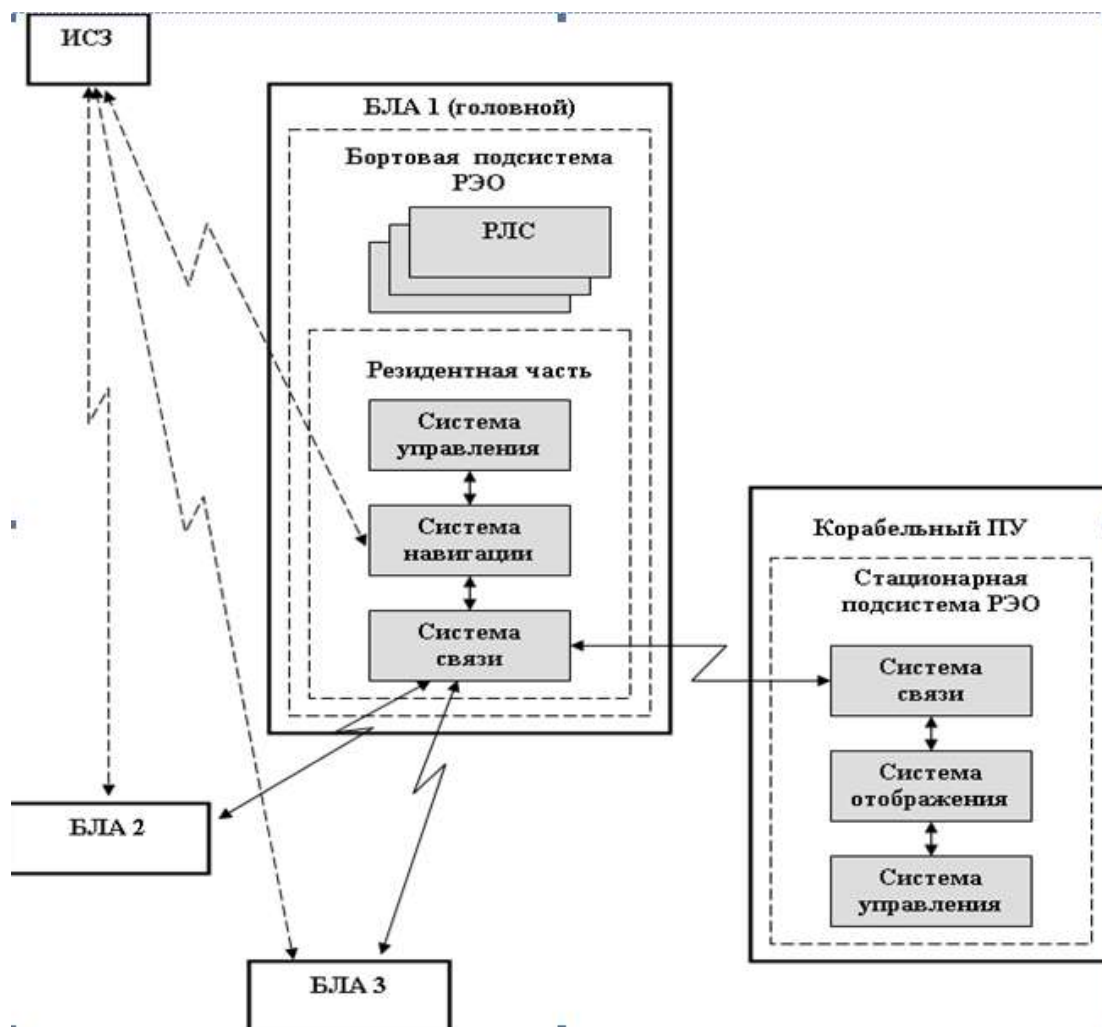


Рисунок 1 – Структурная схема бортового и стационарного РЭО системы нескольких БЛА

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

большое разнообразие конструктивного исполнения КБЛА обуславливает отсутствие или недостаточное развитие методологического аппарата оптимизации их технического облика. В связи с этим актуальным представляется проведение комплекса научно-исследовательских работ, посвященных созданию такой методологии;

ввиду особенностей боевого применения и содержания решаемых задач КБЛА на МТВД особое внимание следует уделить исследованию вопросов построения БЛА, применяемых в интересах ВМФ;

при построении КБЛА ВМФ должны использоваться принципы «унификации», «базовости», «модульности». Особое внимание следует уделить реализации принципа «сетцентричности» и построения сетцентрической системы БЛА;

комплексы бортового оборудования БЛА должны быть адаптивными по сути, иметь возможность перераспределения функций управления и взаимодействия в зависимости от складывающейся обстановки и изменения перечня решаемых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линник С.В. Боевое применение беспилотных летательных аппаратов.- «Военное обозрение», № 15, 2013.
2. Месарович М.Д. и др. Теория иерархических многоуровневых систем / Пер. с англ. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1973.
3. Мочалов С.А. Принципы создания комплексов бортового оборудования перспективных летательных аппаратов. Сборник научных статей по материалам Всероссийской НПК «Жуковские чтения», ВУНЦ ВВС, 2015.
4. Ищук В.И., Мочалов С.А. Базовые интегрированные комплексы бортового оборудования – основной путь развития авионики морской авиации ВМФ», «Фазотрон». №2 (24), 2014.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ СТРЕЛЬБЫ АРТИЛЛЕРИИ

Стрельба артиллерии с воздушными средствами разведки начала осваиваться в России с 1906 года, когда в Гатчине был создан воздухоплавательный отряд для корректирования артиллерийского огня. В том же году выпускник Михайловского артиллерийского училища (ныне Михайловская артиллерийская академия) Пётр Нестеров разработал во Владивостоке правила корректирования стрельбы из аэростата. Через 4 года добился перевода в Гатчину, где в воздухоплавательной школе освоил программу обучения лётному делу. Он основоположник высшего пилотажа, но одновременно один из пионеров и организаторов воздушной разведки и корректирования огня артиллерии. В годы Великой Отечественной войны, за день боя на Ленинградском фронте, командующий артиллерии дивизии, порой, применял до двух полковывлетов корректировочной авиации, для осуществления аэрофотосъёмки, корректирования огня и контроля результатов огневого поражения. Аэростаты наблюдения, наряду с корректировочной авиацией, были непременным средством разведки при ведении контрбатарейной борьбы. Еще в 80-е (доперестроечные) годы в штате мотострелковой (танковой) дивизии имелась вертолётная эскадрилья.

Два из шести вертолётов предназначались для обслуживания стрельбы артиллерии и были в подчинении начальника ракетных войск и артиллерии (РВиА) дивизии. Фотограмметрическая служба, успешно, и достаточно оперативно, обеспечивала артиллерийские формирования результатами аэрофотосъёмки. В ходе реформирования и оптимизации вооружённых сил, воздушная разведка в интересах артиллерии ушла в небытие. Опыт войн и вооружённых конфликтов последних десятилетий, убедительно свидетельствует об объективной необходимости возрождения воздушной разведки, в интересах обслуживания стрельбы, (нанесения ударов), РВиА сухопутных, артиллерии воздушно – десантных, береговых и внутренних войск.

Средствами воздушной разведки являются специализированные или обычные вертолеты, а также дистанционно пилотируемые летательные аппараты. Вертолеты применяют для разведки, определения координат цели и обслуживания стрельбы при поражении объектов противника в районах, не просматриваемых с наземных наблюдательных пунктов, при благоприятной метеорологической обстановке и хороших условиях наблюдения.

Разведывательно-корректировочные вертолеты (РКВ) МИ-24к «Виразж» оборудованы пеленговым прибором, навигационной аппаратурой и счетно-решающим прибором. Во время полета вертолета аппаратура постоянно считывает его текущие координаты, штурман-корректировщик определяет визиром угол пеленгации на цель, а счетно-решающий прибор производит перерасчет углов от связанной с

вертолетом системой координат в земную горизонтальную систему координат. Результаты опытных стрельб, проведенных в конце 80-х годов, показали несоответствие его основных характеристик, требованиям по точности и оперативности разведанных, предъявляемых РВиА. Были намечены пути модернизации РКВ данного типа, связанные с установкой бортового радиоэлектронного комплекса (БРЭК), с РЛС бокового обзора. Однако, по известным причинам, данные доработки проведены не были, а вертолетов данного типа в войсках не осталось. В связи со сложившейся ситуацией, в настоящее время, для корректирования огня применяются борта общего назначения. Как правило, это вертолёт Ми-8. Отдельные, опытные образцы, обладающие высокими характеристиками, в войска в массовом объеме не поступают. Данное состояние пилотируемых средств воздушной разведки нашло отражение в издании ПСиУО-2011г.

Применение вертолета обеспечивает ведение разведки целей и обслуживание стрельбы артиллерии, как правило, с территории, занятой своими войсками в широкой полосе, что не позволяет с высокой точностью определять координаты целей, и предполагает проведение пристрелки цели и корректирование огня в ходе стрельбы на поражение. Однако, в силу изложенных выше причин, связанных с безопасностью экипажа, и ограниченным лётным ресурсом, штурман-корректировщик (артиллерийский корректировщик), далеко не всегда может корректировать стрельбу на поражение, и наблюдать её результаты. Поэтому, как правило, цель будет поражаться как ненаблюдаемая, с расходом $\frac{3}{4}$ нормы (после законченной пристрелки). Установить реальное состояние цели, после окончания стрельбы на поражение, тоже весьма проблематично, вследствие больших дальностей наблюдения и отсутствия специализированных приборов на борту.

Таким образом, к основным недостаткам вертолёт общего назначения, в случае его применения в качестве средства артиллерийской разведки, можно отнести невысокую точность определения координат цели и разрывов, значительное время на пристрелку цели, сложность организационного характера, связанная с подчинённостью экипажа вертолёт и артиллерийских командиров (начальников).

Наиболее перспективным средством разведки в настоящее время являются ДПЛА, позволяющие оперативно и с высокой точностью добывать разведывательные данные о целях на большую глубину расположения войск противника. Беспилотные летательные аппараты (БЛА) стали одним из видов вооружения, которые получили сильный импульс в развитии во время вооруженных конфликтов последних лет. Наибольших результатов в производстве и боевом применении БЛА достигли страны-лидеры НАТО (США, Великобритания, Германия) и Израиль. На данный момент одной из важнейших задач, возлагаемых на комплексы с БЛА вооруженными силами зарубежных стран, является обслуживание артиллерийских подразделений при выполнении огневой задачи в качестве средства целеуказания и корректировки. Изучение опыта зарубежных вооруженных сил в данном вопросе является важным с точки зрения разработки способов стрельбы и управления ог-

нем артиллерии по типовым объектам поражения с помощью комплексов воздушной разведки на БЛА, принятых на вооружение в Российской Федерации.

Уже на сегодняшний день отечественные беспилотные комплексы воздушной разведки (в зависимости от класса и звена боевого применения) способны решать большинство задач, связанных с ведением артиллерийской разведки и обслуживанием стрельбы артиллерии.

Под корректированием огня понимается совмещение разрыва (центра группы разрывов) с целью (центром цели), путём ввода корректуры дальности и направления стрельбы. Для определения корректур необходимо определить дальность и направление стрельбы с огневой позиции (ОП) до цели (центра групповой цели (ЦГР)) и разрыва (центра группы разрывов при стрельбе залпом батареи). Корректурa представляет собой разность между дальностями и направлениями с ОП на цель и разрыв. При наличии в артиллерийском формировании комплекса автоматизированного управления огнем (КАУО), корректурa определяется в артиллерийском формировании. В этом случае артиллерийскому командиру передают координаты разрыва (ЦГР), или отклонения по странам света (координатной сетке (Δx , Δy)). При функционировании единой системы тактического звена (ЕСУТЗ) данные для корректирования огня передаётся стандартной кодограммой.

Порядок пристрелки и форма представления информации определяется на этапе организации взаимодействия с командиром артиллерийского формирования. Возможности комплекса воздушной разведки (КВР) оснащенного БЛА по обслуживанию стрельбы артиллерии существенно зависят от типа КВР, программного обеспечения и характеристик БЛА.

В состав КВР оперативно – тактического звена (применение таковых в интересах артиллерии целесообразно в звене дивизия, бригада, полк) входит: оборудование наземного пункта дистанционного управления (НПДУ), ДПЛА (в некоторых источниках БЛА) и машина, предназначенная для транспортировки оборудования и жизнеобеспечения личного состава. Комплексы воздушной разведки тактического звена (батальон, дивизион, рота, батарея), не требуют изменения штата этих подразделений. Такие комплексы целесообразно иметь в данных подразделениях, как «летающий бинокль», или «летающий дальномер».

Условно разделим КВР, с которыми может осуществляться корректирование огня артиллерии, на три типа:

КВР с БЛА ближней тактической зоны. К ним относятся изделия типа «Элерон», «Груша», «Стрекоза» и т.д. Комплекс – носимый. Старт такого БЛА, как правило, осуществляется с рук. Планер выполнен по схеме «летающее крыло», снабжён электродвигателем. Полетное время – от десятков минут до нескольких часов. Имеет упрощенное программное обеспечение (ПО), незначительное время полета. Посадка – парашютным способом. Расчет, обычно 2...3 человека. Действует в интересах батальона – дивизиона;

КВР с БЛА дальней тактической (оперативно - тактической) зоны. Наиболее доработанный образец – «Орлан-10» и «Гранат». Комплекс – возимый. Старт БЛА

осуществляется с катапульты. Планер выполнен по самолетной схеме, снабжён двигателем внутреннего сгорания. Полетное время – более 10 часов. Имеет мощное программное обеспечение, адаптированное для решения задачи корректирования огня артиллерии. Посадка – парашютным способом. Расчет, обычно 3...5 человек. Действует в интересах бригады, дивизии, для решения целого ряда задач, в зависимости от целевой нагрузки. В настоящее время проведен ряд успешных испытаний по наведению артиллерийских высокоточных боеприпасов типа «Краснополь», «Китолов», «Грань» с подсветом цели с борта БЛА;

КВР с БЛА вертолетного типа ближней тактической зоны. К ним относятся изделия, выполненные по мультикоптерной схеме. Комплекс носимый. Старт такого БЛА, как правило, осуществляется с грунта, при этом достаточно площадки 5 на 5 м. Аппарат снабжён электродвигателем. Полетное время – от десятков минут до нескольких часов. Имеет упрощенное программное обеспечение, незначительное время полета. Посадка – в точку старта в автоматическом или ручном режиме. Расчет, обычно 2 человека, из штатного состава подразделения тактического звена. Действует в интересах подразделений рота (батарея), батальон (дивизион) или групп специального назначения.

В зависимости от масштаба боевых действий и задач, стоящих перед формированиями, а также штатного предназначения комплекса, следует рассматривать три группы задач:

вызов и корректирование огня в интересах тактического подразделения типа рота, при условии наличия прямой связи с артиллерийским подразделением, имеющего БЛА 1-го или 3-го типа. Задача вызова огня артиллерии для самообороны, или для уничтожения важного объекта противника;

вызов и корректирование огня артиллерийского формирования (батареи, дивизиона, артиллерии бригады и т.д.) в интересах поражения отдельных важных целей (например, ведения контрбатареиной борьбы, уничтожения бандформирования, пунктов управления и т.д.) на всю глубину зоны ответственности общевойскового формирования. Поражение важных объектов высокоточными боеприпасами. Такая задача, как правило, решается с помощью КВР 2-го типа;

самостоятельное выполнение огневой задачи артиллерийским подразделением (дивизион, артиллерийская, минометная батарея). При этом в качестве оператора БЛА обычно, работает артиллерийский командир (корректировщик). Такая задача, как правило, решается с помощью КВР 3-го типа.

Дистанционно-пилотируемые (беспилотные) летательные аппараты применяются в составе комплексов воздушной разведки.

Комплекс воздушной разведки может быть использован в интересах артиллерии для решения следующих задач:

- разведки и определения координат целей;
- определения отклонений разрывов от цели в ходе пристрелки и стрельбы на поражение;
- наведение ВТБ на цель;

определения результатов стрельбы на поражение.

Взаимодействие с приданным КВР командир дивизиона организует, как правило, через пункт управления огнем дивизиона.

Начальник штаба дивизиона при организации взаимодействия обязан:

организовать связь с командиром КВР;

сообщить командиру КВР координаты и позывные батарей дивизиона;

определить способы и порядок пристрелки (корректирования огня в ходе стрельбы на поражение), довести до командира КВР необходимые для этого сведения;

назначить (согласовать) район полета ДПЛА (где будет вестись разведка целей и обслуживаться стрельба артиллерии);

установить сигналы управления;

определить время готовности КВР к обслуживанию стрельбы.

Разведывательные данные о целях командир дивизиона (батареи) получает от командира КВР или через пункт управления огнем дивизиона.

Разведывательные данные о цели, полученные с использованием ДПЛА, включают:

номер и характер цели;

координаты и абсолютную высоту центра цели, количество и координаты отдельных целей из состава групповой цели (при необходимости);

размеры цели по фронту и глубине;

характер деятельности цели, степень защищенности живой силы и техники;

цифровое изображение цели (при наличии соответствующего КАУО);

время обнаружения цели и степень достоверности дешифрирования.

С помощью ДПЛА ведут пристрелку целей, координаты которых определены этим же аппаратом. Если координаты цели определены и другими средствами, то они уточняются при обнаружении цели ДПЛА. Для расчета корректур используют только координаты цели, определенные с помощью ДПЛА, обслуживающего пристрелку.

По готовности батареи, командиру КВР сообщают число залпов или выстрелов, которые надо наблюдать, и полетное время снарядов.

Огонь открывают с указанным темпом после доклада командира КВР о готовности к засечке разрывов и сообщают ему о произведенных залпах (выстрелах). Базовая аппаратура ДПЛА позволяет определить прямоугольные координаты разрыва (ЦГР), отклонения ЦГР от цели по осям координат, а так же полярные координаты цели (разрыва) относительно позиции НПДУ.

Для упрощения пристрелки (корректирования огня) с помощью ДПЛА, рекомендуется применять прямоугольные координаты цели (разрывов). Расчет производится с помощью ЭВМ, МК или ПУО, как разность топографических данных определенных по цели (разрыву). В том случае если цель засечена другими средствами, а корректирование огня по ней осуществляется с помощью ДПЛА, рекомендуется произвести доразведку (засечку) цели с помощью ДПЛА, обслуживающего стрельбу.

Точность пристрелки, в этом случае, будет выше за счет компенсации систематической ошибки засечки цели (разрыва) с помощью ДПЛА.

Пристрелка с помощью ДПЛА сопряжена со сложностью идентификации своего разрыва. Ведение пристрелки залпами батареи увеличивает надежность обнаружения и оценки разрывов. Воронки от разрывов снарядов при установке взрывателя на фугасное действие хорошо наблюдаются оператором комплекса воздушной разведки, в особенности при наличии снежного покрова. Следовательно, для повышения надежности засечки разрывов целесообразно основному оружию батареи назначать установку взрывателя на фугасное действие.

Результаты опытных стрельб показывают, что ошибки определения координат цели с помощью ДПЛА могут быть весьма значительными. В этом случае первый залп батареи может не попасть в поле зрения штурмана. Поэтому рекомендуется в начале пристрелки назначать вместо залпа один выстрел дымовым снарядом из основного оружия батареи.

Пристрелку с помощью КВР проводят по измеренным отклонениям одиночными выстрелами основного оружия или залпами батареи (взводов) при сосредоточенном веере. Для обеспечения надежной засечки разрывов основному оружию батареи назначают установку взрывателя на фугасное действие. При наличии дымовых снарядов разрешается в начале пристрелки назначать выстрел этим снарядом. Получив от командира КВР доклад «Есть разрыв», на этих же установках производят залп батареей (взводом). Если разрыв (залп) не засечен (доклад командира КВР «Нет разрыва»), выстрел (залп) повторяют после проверки установок для стрельбы, наведения оружия и назначенного района разведки ДПЛА.

Таким образом, за счет автоматизации управленческих процессов на всех уровнях управления и созданием автоматизированной разведывательно-огневой системы (АРОС), основой которой являются автоматизированные артиллерийские комплексы (ААК) представляющие собой совокупность подсистем разведки, прежде всего КВР, обеспечения, связи, защиты от ВТО и РЭБ, вычислительных средств, специального математического и программного обеспечения, объединенных подсистемой управления в интересах максимальной реализации потенциальных возможностей средств поражения, может быть достигнут не только паритет, но и превосходство отечественной артиллерии над полевой артиллерией развитых государств.

Подводя итог написания статьи можно сделать некоторые выводы:

разница между вертолётом и дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом (ДПЛА) для обнаружения и обеспечения эффективного поражения наземных целей состоит в том, что кроме риска утраты дорогостоящего пилотируемого вертолета, при обслуживании стрельбы с высот ниже границы облачности, всегда будет присутствовать риск гибели его экипажа, что в рамках конструкции войн «нового» типа следует считать недопустимым. Более того, работу экипажа вертолета в условиях боевого стресса, вызванного более чем реальными опасениями экипажа за свою жизнь, заранее следует считать неэффективной, по сравнению с

работой оператора ДПЛА, обслуживающего стрельбу наземного пункта дистанционного управления (НПДУ), который может находиться за десятки километров от цели и средств поражения;

особо следует отметить то обстоятельство, что применение КВР превращает ненаблюдаемые цели в наблюдаемые что объективно приводит к изменению порядка стрельбы на поражение этих целей и снижению расхода боеприпасов, потребного для поражения цели в разы;

необходимо отметить, что применение КВР для обслуживания стрельбы требует чёткого взаимодействия артиллерийских командиров с командирами КВР. Опыт стран НАТО, боевого применения КВР и проведенных учений, убедительно свидетельствует о том, что комплексы воздушной разведки должны быть включены в штат артиллерийских формирований. Только в этом случае возможна эффективная совместная боевая подготовка личного состава КВР и артиллерийских формирований, и, как следствие повышение эффективности огня артиллерии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпович А.В., Круковский А.С. Выполнение огневой задачи с помощью комплекса воздушной разведки с БЛА // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XVII ВНК. – Том № 6. –СПб.: НПО «Спецматериалы», 2014. – С. 217–222.
2. Лукашева Э.П., Силкина А.А., Чистяков Н.В. Элементарные соображения по беспилотной воздушной разведке и наблюдению поля боя, а также по оптимизации беспилотных систем. – М.: НПЦ «Новик–XXI век», 2007. – С. 152.
3. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии. Дивизион, батарея, взвод, орудие. Часть 1. – М.: Воениздат, 2011. – С. 410.
4. Отчет о результатах опытных артиллерийских стрельб с БЛА «Орлан-10». – №5. – СПб.: МВАА, 2015. – С. 23.

А.Ю. КАРТЕНИЧЕВ, кандидат военных наук, старший научный сотрудник, доцент, ведущий научный сотрудник НИЦ Робототехники ФГБУ ВНИИПО МЧС России

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МЧС РОССИИ

Как известно, требования к содержанию и оформлению программного документа «Программа и методика испытаний» установлены в ГОСТ Р 15.201-2000 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство». В докладе будет уделено внимание особенностям оценки соответствия летно-технических и функциональных возможностей потенциальных для приема на снабжение образцов беспилотных авиационных систем (БАС) в МЧС России.

Для начала необходимо отдельно остановиться на некоторых дискуссионных аспектах различных мнений о закупках БАС иностранного производства. Представители различных фирм Франции и Израиля периодически предлагают нам свои беспилотники.

В 2009 году для отряда Центроспас были закуплены два комплекса с беспилотными летательными аппаратами вертолетного типа HE-60. В процессе опытной эксплуатации было выявлено множество недостатков и отказов, как конструктивных, так и в программном обеспечении. Произошло три аварии с частичным разрушением конструкции из-за низкого качества комплектующих и конструктивных недостатков.

В 2013 году в МЧС поступило коммерческое предложение от другой иностранной фирмы на предмет участия наших специалистов в оценке результатов демонстрационных возможностей беспилотного вертолета IT 180 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Беспилотное воздушное судно IT 180

Программа демонстрационного полета была весьма ограничена и включала: взлет в автоматическом режиме, набор высоты 40 м, демонстрацию технических возможностей бортовой видеокамеры и работы наземной станции управления, снижение и посадку также в автоматическом режиме.

Было отмечено, что элементная комплектация данного комплекса является производной от закупок у множества продвинутых, каждая в своем сегменте, фирм, что в основном характерно и для отечественных производителей. Передаваемая информация зашифрована по алгоритму, принятому в Евросоюзе (НАТО), а для использования у нас подсистема защиты информации, передаваемой по каналам связи, должна быть адаптирована к требованиям стандартов, утвержденных в России.

Консультации с представителями компании ИНФОТРОН, а также анализ рекламных буклетов показал, что большая часть аппаратуры необходимой для соответствия характеристик комплекса ПТ 180 заявленным возможностям является опционной. Например, объявляется стоимость базовой модели с дальностью 600 м, а характеристики при этом заявляются как у лучшей модели с дальностью 10 км. При осмотре элементов конструкции было отмечено, что некоторые узлы и детали, подверженные особо значительным нагрузкам, например, редуктор, выполнены из пластика. Этот факт вызывает сомнение в их ресурсной работоспособности с вытекающими из этого последствиями. Заявленный ресурс самого двигателя также ниже по сравнению с аналогичными летательными аппаратами отечественного производства. Кроме того, является сложной сама технология эксплуатации элементов полезной нагрузки.

Обучение наших специалистов является дополнительно оплачиваемым и должно в течение двух месяцев происходить на территории производителя (в Европе). К обучению допускаются только уже подготовленные операторы и обслуживающий технический персонал, имеющие навыки в эксплуатации аналогичных беспилотных систем. Платными являются также проезд из Европы и обратно, проживание, питание иностранных специалистов для проведения планового технического обслуживания комплекса, которое также должно оплачиваться нашей стороной. В результате, из вышеизложенного по совокупности следует, что суммарная стоимость комплекса и его дальнейшая техническая эксплуатация может весьма значительно, в разы, отличаться от заявленной базовой цены.

Для принятия оптимального решения о целесообразности закупки и использовании для нужд МЧС России данного образца воздушного робототехнического комплекса было предложено проведение комплексных сравнительных испытаний нескольких близких по характеристикам БАС различных фирм, в том числе и российских. Специалистами института была разработана и предложена программа тестовых испытаний беспилотного авиационного комплекса «ПТ 180» однако этот вопрос не удалось согласовать с представителями фирмы-изготовителя.

Недавно появилась интересная статья о другой закупленной у иностранной фирмы беспилотной авиационной системе. Автор утверждает, что:

не проводилась проверка технических средств данного комплекса на наличие не декларированных возможностей по их использованию в качестве средств технической разведки в соответствии с «Концепцией противодействия технической разведки (ТР) по защите образцов ВВТ...»;

зафиксированы многократные случаи сбоя в работе системы управления, программного обеспечения и отказы каналов связи.



Рисунок 2 – Беспилотное воздушное судно «Застава»

Нет необходимости детального перечисления в этом докладе множества других выявленных недостатков. Они и так должны быть Вам известны. Выводом из выше приведенных примеров может быть только одно – «нет пророка в своем отечестве».

Сущность предлагаемого подхода к проведению испытаний обусловлена необходимостью выявления из большого модельного ряда предлагаемых разработчиками беспилотных авиационных систем таких образцов, которые бы в наибольшей степени удовлетворяли специфическим требованиям для решения задач МЧС России.

Мы считаем, что такой выбор БАС должен осуществляться на тактическом фоне, когда оцениваются функциональные возможности по выполнению необходимых операций при решении типовых задач МЧС России или другого ведомства. В нашем министерстве при проведении дней инноваций, тестовых испытаний, смотров конкурсов и других подобных мероприятиях разрабатываются специальные сценарии проведения полетов с комплексным выполнением различных заданий по этапам полета. Если содержание задания требует смены бортовой полезной нагрузки, то для комплекса может быть запланировано несколько полетов. Для обеспечения объективности оценки к испытаниям привлекаются, как правило, БАС одного класса. Разрабатывается плановая таблица полетов и назначается группа руководства и контроля.

Создается натурная имитация наземной обстановки. В структуру этой обстановки могут входить как имитаторы, так и реальные образцы действующей техники. Определяются границы района выполнения полетов.

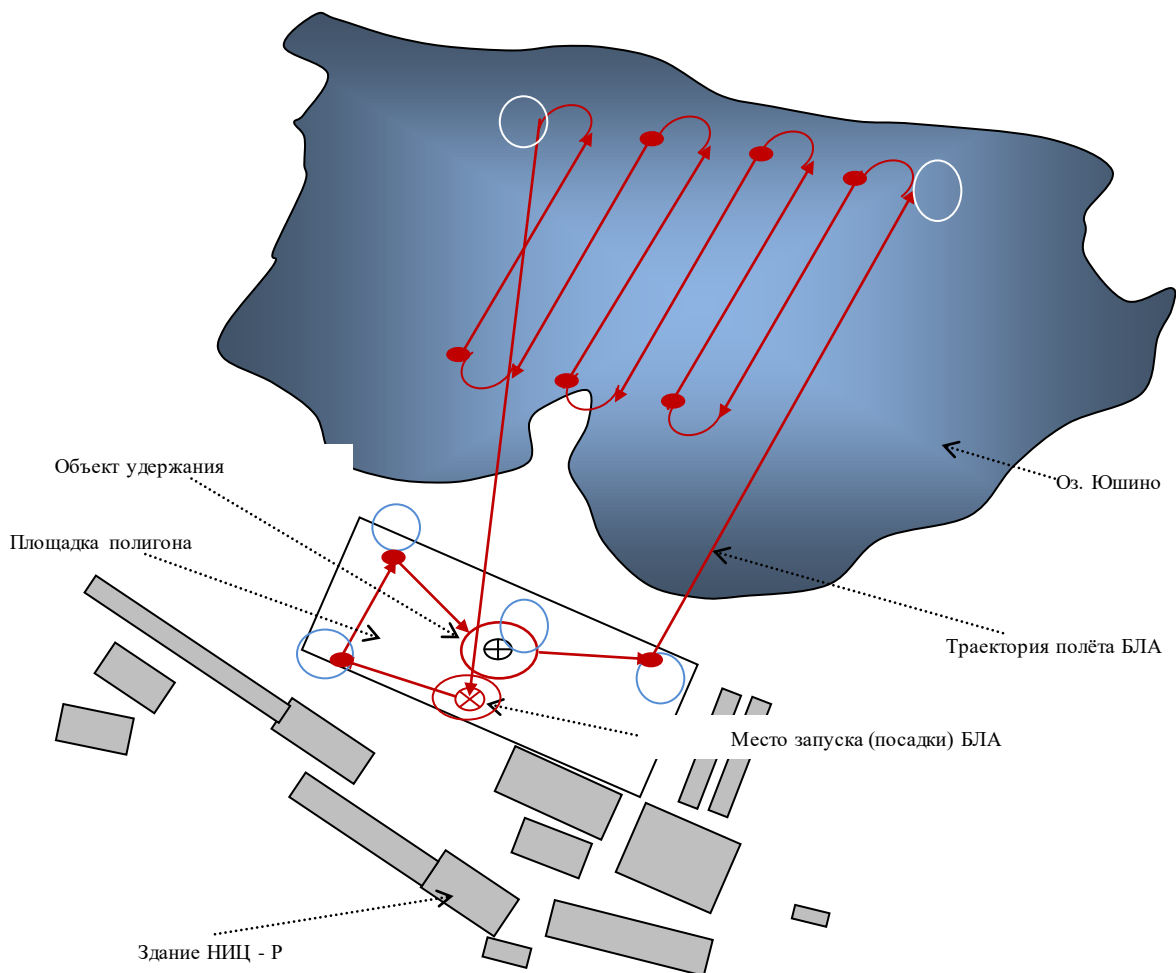


Рисунок 3 – Кроки полигона НИЦ–Р ФГБУ ВНИИПО и вариант схемы выполнения полётного задания

Как правило, маршрут полета разбит на этапы, на которых демонстрируются возможности беспилотного воздушного судна (БВС) по выполнению какого-либо оцениваемого элемента задания.

Основными пунктами плана проведения тестовых полетов являются:

- задачи выполнения полётного задания;
- требования к полезной нагрузке БЛА;
- требования по техническому обслуживанию;
- требования по безопасности;
- содержание тестового полётного задания;
- оценка качества выполнения тестового полётного задания.

В табличной части плана указываются:

- номер этапа полета;
- наименование этапа и выполняемого на нем полетного задания;
- отрабатываемые элементы, т.е. детализация проводимых мероприятий;

контролируемые функции и параметры;
номер позиции на схеме полета.

Следующим пунктом плана является оценка качества выполнения тестового полётного задания. Для этого предлагается специальная таблица.

Т а б л и ц а 1 – Оценки совершенства БАС (пример)

Внешние стратегические факторы	Вес фактора	Оценка	Взвешенная оценка
Лётные качества БВС			
-	0,20	4	0,80
-	0,10	5	0,50
-	0,05	1	0,05
-	0,05	2	0,10
-	0,10	2	0,20
Возможности бортового и наземного оборудования			
-	0,10	4	0,40
-	0,10	4	0,40
-	0,15	3	0,45
-	0,05	1	0,05
-	0,10	2	0,20
Суммарная оценка	1,00		3,15

Взвешенные оценки возможностей БАС с БВС будут использованы для выработки рекомендаций по дооснащению эксплуатирующих подразделений МЧС России.

Зачем нужна наземная обстановка. Кроме проверок летно-технических характеристик самого БВС, функциональных возможностей бортовой аппаратуры и целевой полезной нагрузки в соответствии с обычной программой и методиками могут и должны оцениваться возможности по выполнению различных тактических задач. Например:

обнаружение очага возгорания;

поиск и сопровождение наземных транспортных средств и мобильных робототехнических комплексов в сложных условиях рельефа или городской застройки;

разведка района чрезвычайной ситуации, которая включает: оценку состояния инфраструктуры, поиск (определение) путей выдвижения аварийно-спасательных команд и робототехнических средств (РТС);

обеспечение ретрансляции видеоинформации с телекамер РТС на пункт управления;

обеспечение ретрансляции команд управления на мобильные РТС с пункта управления;

поиск пострадавших на суше и на водных акваториях;

доставка средств спасения и других грузов;

возможности безаварийного возвращения БВС при наличии помех каналам управления;

возможности наземной станции управления по групповому управлению несколькими БВС.

Поиск человека в воде и доставку спасательного плавсредства мы отрабатывали на показанном, на схеме озере рядом с полигоном. Потенциальную «жертву» в сухом гидрокостюме отвези на катере в дальний конец озера для имитации пострадавшего. С помощью беспилотного аппарата он был обнаружен и по команде оператора с БВС ему был сброшен спасательный жилет. Координаты местонахождения пострадавшего были переданы на борт дежурного вертолета, который через 7 минут подлетел на высоте 300 м в заданный район, при этом пострадавший, услышав звук от вертолета, зажег сигнальный дым. С борта вертолета на тросе был спущен спасатель, который и подобрал пострадавшего.

О необходимости совершенствовать бортовое оборудование и отрабатывать безаварийный возврат БВС при применении РЭП свидетельствует опыт полетов БВС на Домбасе. Этот элемент испытаний проводится с выездом в заданный район автомобиля для контроля траектории полета БВС вне визуального контакта с оператором. Члены комиссии оценивают поведение ЛА в момент отключения канала управления и осуществляют подбор при вынужденной посадке или падении. Не все представители фирм, представившие свою технику, сразу соглашались на этот эксперимент.

Еще один сценарий учений уже дважды отрабатывался. Кроме обычных задач для комплексов с БВС (поиск потерпевшего аварию ЛА и т.п.) проходила испытанная на БВС и пилотируемых самолетах аппаратура АЗН-В (Автоматическое Зависимое Наблюдение Вещательного типа). Эта система позволяет экипажам пилотируемых ВС и группе руководства наблюдать все другие, оборудованные этой системой ВС и получать информацию об основных параметрах их полета. Полеты выполнялись в общем воздушном пространстве под управлением одного руководителя полетов.

Было выполнено парашютное десантирование врача к обнаруженному с помощью БВС месту аварии, а затем квадрокоптером было доставлено и сброшено дополнительное количество обезболивающих медикаментов.

Участие в подобных учениях с реальной тактической и сложной воздушной обстановкой одновременно нескольких комплексов с беспилотными летательными аппаратами различных ведущих фирм и испытания при этом наиболее перспективных бортовых и наземных систем способствует стимулированию разработчиков к поиску новых технических решений. Практика проведения испытаний с использованием тактического фона обеспечивает достижение главной цели: определение из множества претендентов того, который по результатам сравнительного анализа полученных результатов в наибольшей степени удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Таким образом, проведение тестовых испытаний и принятие решения о количественном и номенклатурном оснащении (дооснащении) подразделений МЧС беспилотными авиационными системами необходимо принимать с учётом целей,

задач и тактики действий аварийно-спасательных формирований, а также выводов из анализа типовых факторов риска, определяемых инфраструктурными, географическими и климатическими особенностями различных регионов. Применяемый в МЧС России подход к проведению испытаний, в сочетании с определенными ГОСТом программами и методиками, позволяет, в конечном счете, обеспечить правильный выбор БАС, а, соответственно, и повышение уровня эффективности решения задач по назначению.

С.В. ГОЛУБЕВ, доктор военных наук, доцент
ВУНЦ «ВВС» (г. Воронеж)
В.К. КИРЬЯНОВ, адъюнкт ВУНЦ «ВВС»
(г. Воронеж)

О ПОДХОДЕ К ПОДГОТОВКЕ В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ИНОСТРАННЫХ АРМИЙ

В статье обоснована необходимость и раскрыто содержание подхода к подготовке в высшем военном учебном заведении специалистов радиоэлектронной борьбы с системами управления беспилотными летательными аппаратами и робототехническими средствами иностранных армий

В армиях иностранных государств ведутся интенсивные работы по принятию на вооружение различных типов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и робототехнических средств, которые рассматриваются руководством вооруженных сил США и стран – членов блока НАТО в качестве одного из важнейших средств повышения боевых возможностей вооруженных сил и расширения перечня успешно выполняемых боевых задач на качественно новом уровне при существенном снижении потерь личного состава, а также дорогостоящей пилотируемой авиационной техники в ходе ведения боевых действий. Для управления БЛА и робототехническими средствами в иностранных армиях разрабатываются специальные системы управления (СУ), от качества функционирования которых во многом зависит эффективность применения БЛА и робототехнических средств. В этих условиях одной из актуальных становится задача подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы (РЭБ) для решения задач дезорганизации СУ БЛА и робототехническими средствами [1-8].

Цель статьи состоит в раскрытии содержания подхода к подготовке в высшем военном учебном заведении специалистов РЭБ с СУ БЛА и робототехническими средствами иностранных армий.

Результаты анализа опыта вооруженных конфликтов позволяют установить, что расширение сфер применения БЛА в современных условиях обусловлено тем, что они обладают рядом преимуществ по сравнению с пилотируемой авиацией. Основными из них являются: отсутствие пилота, возможность применения различного вооружения и бортового радиоэлектронного оборудования, приближения к цели на близкое расстояние и нахождение в заданном районе длительное время; относительно низкая цена и малая эффективная поверхность рассеивания, возможность для многих типов БЛА взлета с неподготовленных площадок, совершения полета в автоматическом режиме с корректировкой траектории полета, а также многофункциональность и др. [3].

Наиболее важными направлениями развития БЛА являются создание беспилотных разведывательно-ударных систем нового поколения, предназначенных для решения задач подавления системы ПВО противника и создание перспективных боевых БЛА. В соответствии с планами военно-политического руководства НАТО в период до 2030 года будут созданы беспилотные системы, способные эффективно выполнять весь спектр задач пилотируемой авиации, используя для этого различные формы и способы боевого применения [2].

Необходимо отметить, что в вооруженных конфликтах XXI века возрастает, также, доля участия в зонах боевых действий наземных робототехнических средств иностранных армий. Так, если в 2004 г. в вооруженных конфликтах было использовано 163 единицы робототехнических средств, то в настоящее время в Ираке и Афганистане используется до 5000 единиц. Одной из основных целей применения робототехнических средств, особенно дистанционно-управляемых машин (ДУМ), на поле боя является снижение потерь среди военнослужащих [6].

При этом большинство наземных ДУМ, находящихся в настоящее время на вооружении армий иностранных государств, предназначены для поиска и обнаружения фугасов, мин, снижения небоевой нагрузки на военнослужащих на поле боя. На боевых робототехнических средствах могут размещаться средства стрелкового оружия или ближнего боя.

На робототехнические инженерные средства предполагается возложить задачи по обнаружению, транспортировке и обезвреживанию взрывоопасных предметов, расчистке завалов, проделыванию проходов и подъему тяжестей, а также обнаружению зон химической, радиоактивной и биологической зараженности. Важное место в комплекте такой техники занимают разведывательные робототехнические средства, предназначенные для наблюдения за обстановкой, поиска целей и распознавания их. Такие средства, по мнению иностранных специалистов, должны обеспечивать сбор разведывательной информации об обстановке в зоне боевых действий и передачи её оператору или в единый аналитический центр. Основное назначение тыловых робототехнических средств - это перевозка грузов, эвакуация с поля боя раненых военнослужащих, подвоз имущества и др. Ведутся, также, активные работы по созданию экзоскелетов (роботизированных костюмов), позволяющих оператору поднимать без приложения особых усилий различные грузы, а также человекоподобных роботизированных устройств (роботов), которые могут заменить человека в опасных зонах, повысить защищенность важных объектов инфраструктуры [6].

Как было отмечено выше, особую роль в эффективном применении БЛА и робототехнических средств занимает управление, которое осуществляется с использованием систем, отличающихся от традиционных СУ войсками и оружием назначением, решаемыми задачами, составом, размещением, порядком функционирования и уровнями взаимодействия компонент, степенью мобильности, длительностью цикла функционирования, а также каналами управления и содержанием передаваемой информации.

Для управления БЛА могут использоваться автоматические и автоматизированные системы. В современных условиях в армиях иностранных государств ведутся работы по интеграции СУ БЛА различных типов на основе использования сетевых технологий для обеспечения возможности управления из единого центра (рисунок 1) [7].

Управление робототехническими средствами может быть дистанционным или автономным. Для управления могут использоваться бортовая ЭВМ, пульта управления, а также пункты управления на базе командно штабных или бронированных машин с хорошей проходимостью и специальным оборудованием. Планами развития робототехнических средств предусмотрено использование для их управления высокоскоростных автоматизированных сетей, алгоритмированных выборов маршрутов, расширение диапазона частот управления и др. К 2030 году все робототехнические средства США будут осуществлять обмен с использованием стандартных протоколов сообщений. Ведутся работы по созданию сети, в которой ДУМ будут взаимодействовать между собой независимо от стандарта протокола сообщений своей страны или фирмы производителя. Ожидается создание к 2035 году высокоскоростной автоматизированной сети связи для интеграции робототехнических средств в единое информационное пространство [1].

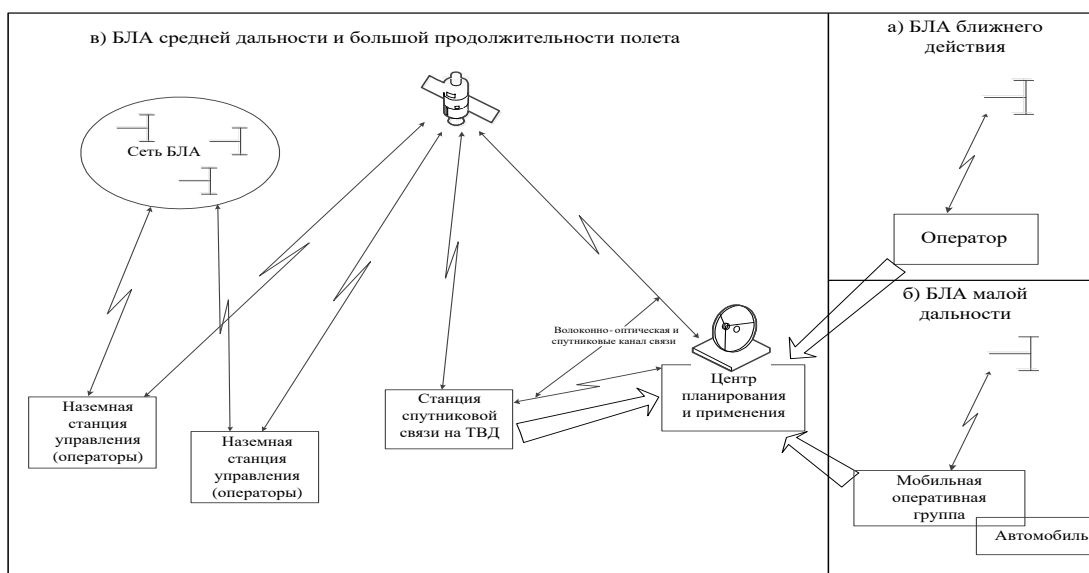


Рисунок 1 – Системы управления БЛА

Изложенное выше позволяет констатировать, что в армиях иностранных государств расширяются количество и номенклатура принимаемых на вооружение БЛА и робототехнических средств, а также расширяется перечень решаемых с их использованием задач в вооруженных конфликтах. Одним из основных элементов, обеспечивающих эффективное применение БЛА и робототехнических средств, являются системы управления.

В соответствии с планами развития системы вооружения радиоэлектронной борьбы ВС РФ ожидается поступление в войска специальной техники нового поколения и формирование подразделений РЭБ с СУ БЛА. Это обусловило необходи-

мость решения одной из новых актуальных задач – подготовки специалистов РЭБ с СУ БЛА и робототехническими средствами.

Результаты анализа учебных планов и программ позволяют установить, что в настоящее время в системе высшего профессионального образования подготовка специалистов РЭБ для Сухопутных войск и Воздушно-космических сил осуществляется по двум специальностям: средства и комплексы радиоэлектронной борьбы, а также информационная безопасность автоматизированных систем критически важных объектов по пяти воинским специальностям:

применение подразделений и эксплуатация средств РЭБ с наземными системами управления войсками и оружием;

применение подразделений и эксплуатация средств РЭБ с воздушно-космическими системами управления войсками и оружием;

применение подразделений и эксплуатация средств РЭБ авиации;

применение и эксплуатация средств информационной борьбы;

применение подразделений и эксплуатация средств комплексного технического контроля мер противодействия техническим разведкам.

Основное предназначение выпускников: для прохождения службы в подразделениях и частях РЭБ всех видов (родов войск) ВС РФ и родов войск не входящих в виды ВС РФ в первичных офицерских должностях командира взвода, начальника группы и ему равнозначных; заместителя командира отдельной вертолетной эскадрильи РЭБ по РЭБ – бортового оператора РЭБ и др.

Результаты проведенного анализа позволяют установить, что в квалификационных требованиях к подготовке специалистов РЭБ по вышеперечисленным специальностям и в содержании обучения, вопросам изучения СУ БЛА и робототехническими средствами, а также способов боевого применения сил и средств РЭБ в интересах дезорганизации СУ БЛА и робототехническими средствами иностранных армий должного внимания не уделяется.

На основе результатов анализа изменений в вооруженной борьбе, особенностей боевого применения БЛА и робототехнических средств иностранных армий, новых задач, решаемых специалистами РЭБ в бою и операции, разработаны и предлагаются требования к военно-профессиональной подготовке специалистов РЭБ с СУ БЛА и робототехническими средствами, основными из которых являются:

Знать:

основные типы, ТТХ, решаемые задачи, боевые возможности, способы боевого применения БЛА и робототехнических средств иностранных армий;

назначение, состав, основные характеристики, порядок функционирования бортового радиоэлектронного оборудования БЛА и робототехнических средств;

назначение, состав, основные характеристики вооружения БЛА и систем наведения оружия;

назначение, состав, порядок функционирования систем управления БЛА, робототехническими средствами и систем управления войсками и оружием иностранных армий оперативно-тактического и тактического звеньев управления;

назначение, состав, характеристики сил и средств РЭБ, применяемых для дезорганизации СУ БЛА и робототехнических средств;

способы применения средств и формирований РЭБ для дезорганизации СУ БЛА и робототехнических средств иностранных армий;

способы применения БЛА и робототехнических средств в бою и операции;

системы управления БЛА РЭБ ВС РФ;

Уметь:

производить оценку радиоэлектронной обстановки, выявлять уязвимые звенья и объекты радиоэлектронной борьбы в системах управления БЛА, робототехническими средствами, системах управления войсками и оружием иностранных армий;

управлять БЛА в ходе выполнения боевых задач;

Владеть:

методикой оценки радиоэлектронной обстановки, систем управления БЛА и робототехническими средствами иностранных армий;

Быть способным:

организовать боевое применение сил и средств РЭБ для решения задач дезорганизации СУ БЛА и робототехническими средствами иностранных армий;

исполнять обязанности командира взвода БЛА РЭБ.

В соответствии с разработанными требованиями предлагается организовать многоуровневую подготовку специалистов РЭБ с СУ БЛА и робототехническими средствами в системе высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования на базе факультета радиоэлектронной борьбы (и информационной безопасности) ВУНЦ ВВС (ВВА).

Для подготовки специалистов в системе высшего профессионального образования предлагается открыть новую военную специальность «Применение подразделений и эксплуатация средств РЭБ с системами управления БЛА и робототехническими средствами» по специальности (специализации) 210602 Специальные радиотехнические системы (средства и комплексы радиоэлектронной борьбы). Срок обучения 5 лет. Основное предназначение выпускника – для прохождения службы в подразделениях и воинских частях РЭБ ВС РФ на первичных офицерских должностях командира взвода, начальника группы и ему равных.

Для организации такой подготовки необходимо разработать квалификационные требования, учебные планы и программы, обосновать содержание обучения, сформировать учебно-материальную базу, разработать модели подготовки специалистов РЭБ, а также замыслы проведения комплексной тактической задачи и тактико-специальных учений [7]. Специфика такой подготовки состоит в том, что обучающиеся должны знать основы боевого применения БЛА как иностранных армий, так и ВС РФ, а также уметь в комплексе применять силы и средства РЭБ

наземного, воздушного базирования, а также подразделения БЛА, оснащенные техникой РЭБ.

Обучение специалистов РЭБ с СУ БЛА целесообразно начать в рамках существующей организационно-штатной структуры факультета и структуры подготовки специалистов РЭБ. В перспективе целесообразно создать кафедру «Боевого применения подразделений и эксплуатации средств РЭБ с системами управления БЛА и робототехническими средствами» [7].

Необходимо, также, внести соответствующие изменения в существующие программы и тематические планы обучения специалистов РЭБ в интересах обеспечения их подготовки к решению задач дезорганизации СУ БЛА и робототехническими средствами иностранных армий.

Профессиональную переподготовку и повышение квалификации офицеров-специалистов в области борьбы с СУ БЛА и робототехническими средствами предлагается осуществлять по образовательным программам дополнительного профессионального образования на двухмесячных курсах.

Таким образом, реализация основных положений предложенного подхода позволит организовать многоуровневую подготовку высококвалифицированных специалистов РЭБ с СУ БЛА и робототехническими средствами иностранных армий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев А. Перспективы развития и применения беспилотных и роботизированных средств вооруженной борьбы в ВС ведущих зарубежных стран. ЗВО № 5, 2011. с. 14-21.
2. Блинков Ю. Перспективы развития беспилотной авиации в ведущих странах НАТО. ЗВО № 12, 2012. Сс. 54-57.
3. Голубев С.В. Кирьянов В.К. Современные системы управления беспилотными летательными аппаратами иностранных армий. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА им. Проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Вестник Военно Воздушной Академии №2 (23), 2015 с.473-478.
4. Баскаков О. Системы управления БЛА по технологии SWARM. ЗВО № 9, 2012. с. 91-92.
5. Попов В., Федутин Д. Тенденции развития систем передачи данных при использовании БЛА. ЗВО № 4, 2006. с. 47-51.
6. Русинов В. Состояние и планы развития наземных робототехнических комплексов США. ЗВО № 3, 2013. с. 44-56.
7. Голубев С.В. Кирьянов В.К. Модель подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы к выполнению задач дезорганизации систем управления беспилотными летательными аппаратами. Вестник ВУНЦ ВВС «ВВА», № 2 (23) 2015. с. 479 - 486.

8. Голубев С.В. Состояние и перспективы развития систем РЭБ основных стран блока НАТО. Сборник статей по материалам докладов XXIII межвуз. НПК «Перспектива - 2013». /Радиоэлектронная борьба. Комплексы и средства радиоэлектронной борьбы Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2013. с. 39 - 41.

С.В. ГОЛУБЕВ, доктор военных наук, доцент
ВУНЦ «ВВС» (г. Воронеж)
В.К. КИРЬЯНОВ, адъюнкт ВУНЦ «ВВС»
(г. Воронеж)

ПОДГОТОВКА КУРСАНТОВ СПЕЦИАЛИСТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧ БОРЬБЫ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

В статье раскрыто содержание подхода к подготовке в военном вузе специалистов радиоэлектронной борьбы к выполнению задач борьбы с системами управления беспилотными летательными аппаратами на основе использования усовершенствований модели подготовки.

Ключевые слова: модель, беспилотный летательный аппарат, система управления, подготовка.

В армиях иностранных государств расширяется перечень задач, решаемых в вооруженных конфликтах с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Для управления БЛА в боевых условиях используются средства и формируются системы управления которые интегрируются в единую систему управления. [2].

В связи с этим актуальной становится задача подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы (РЭБ) к борьбе с системами управления (СУ) БЛА иностранных армий [1, 3, 4].

Цель статьи состоит в раскрытии содержания подхода к подготовке специалистов РЭБ в военном вузе для выполнения задач борьбы с СУ БЛА с использованием усовершенствованной модели подготовки.

Сущность предлагаемого подхода к подготовке специалистов РЭБ состоит в системном и комплексном использовании содержания, форм, методов, средств обучения в соответствии с разработанной усовершенствованной модели подготовки.

Усовершенствованная модель подготовки, структурно состоит из трех объединенных общим замыслом блоков - теоретико-методологического, структурно-функционального и технологического, новизна предлагаемой модели определяется учетом дополнительных требований к подготовке специалистов РЭБ, содержанием обучения, а также составом методов и средств обучения (рисунок 1) [5].

Теоретико-методологический блок включает цель обучения, задачи подготовки, дополнительные требования к специалистам РЭБ, принципы подготовки.

Новая цель обучения, по мнению авторов, должна состоять в подготовке специалистов РЭБ к выполнению задачи борьбы с СУ БЛА иностранных армий. В соответствии с целью определены следующие задачи подготовки: в обучении специалистов РЭБ действиям в составе боевых расчетов средств, комплексов радиопо-

давления; должностных лиц боевого расчета пунктов управления подразделений РЭБ; командира подразделения РЭБ. Дополнительные требования к данной подготовке разработаны на основе результатов анализа характеристик бортового вооружения, СУ и особенностей боевого применения БЛА с использованием экспертного опроса (таблица 1).

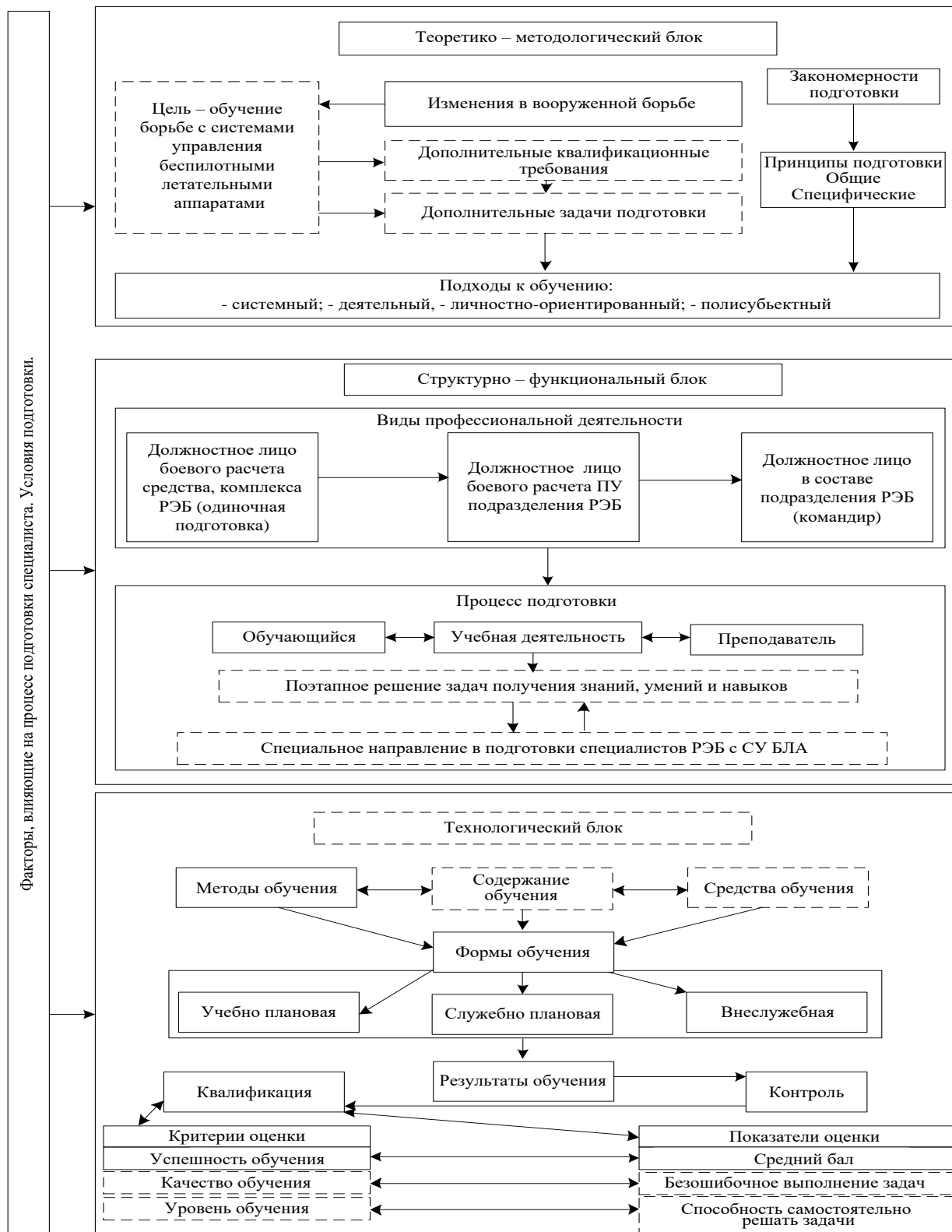


Рисунок 1 – Усовершенствованная модель подготовки в военном вузе специалистов РЭБ борьбы с системами управления БЛА

Таблица 1 – Дополнительные требования к подготовке специалистов РЭБ

№ п/п	Дополнительные требования
	Знать:
1	Решаемые задачи, способы боевого применения БЛА
2	Характеристики и боевые возможности основных систем вооружения БЛА иностранных армий, особенности боевого применения
3	Бортовое радиоэлектронное оборудование, СУ БЛА сетевые подходы к управлению БЛА
4	Особенности боевого применения подразделений РЭБ для выполнения задач радиоэлектронного поражения систем управления БЛА
5	Содержание оценки систем управления БЛА
	Уметь:
1	Оценивать СУ БЛА, выявлять объекты РЭБ и цели радиопомех
2	Принимать решения на боевое применение подразделений РЭБ для борьбы с СУ БЛА
3	Организовать боевое применение подразделений РЭБ для выполнения задач борьбы с СУ БЛА
4	Выполнять задачи радиоэлектронного поражения объектов РЭБ в СУ БЛА
5	Вести радиоэлектронную разведку в СУ БЛА
6	Организовать воздействие на сеть управления БЛА
	Владеть:
1	Методикой оценки СУ БЛА иностранных армий и выявления в них объектов РЭБ
2	Методикой проведения сетевых атак в СУ БЛА
3	Способами боевого применения техники РЭБ для борьбы с СУ БЛА
	Быть способным:
1	Выявлять и оценивать объекты РЭБ и цели радиопомех в системах управления БЛА
2	Принимать решения на боевое применение подразделений РЭБ для борьбы с системой управления БЛА
3	Осуществлять боевое применение подразделений РЭБ для решения задач борьбы с СУ БЛА

Основными принципами обучения специалистов РЭБ являются - учить тому, что необходимо на войне, сочетание обучения в вузе с практикой боевой подготовки войск, опережающей подготовки обучающихся в области использования новых информационных технологий, приоритетной подготовки обучающихся к управленческой деятельности воинскими подразделениями, распределенными в широком географическом пространстве, практической направленности в обучении применения подразделений РЭБ для борьбы с СУ БЛА, комплексного использования современной учебно-материальной базы.

Основу структурно-функционального блока составляют виды военно-профессиональной деятельности, процесс подготовки, а также поэтапное решение задач получения знаний, формирования умений, навыков и компетенций.

Основными видами деятельности обучающихся в вузе являются управленческая, а также инженерно-эксплуатационная. Управленческая деятельность ориентирована на подготовку курсантов-специалистов РЭБ как командиров, а инженерно-эксплуатационная на овладение умениями и навыками эксплуатации техники.

Процесс подготовки специалистов РЭБ направлен на овладение обучающимися средствами и способами борьбы с системами управления БЛА, формирование умений и навыков, необходимых для оценки систем управления БЛА, выявления уязвимых звеньев в системах управления БЛА, принятие решения на боевое применение подразделений РЭБ, обеспечение защиты своих информационных и информационно-управляющих систем и их ресурсов от радиоэлектронной разведки и радиоэлектронного поражения с использованием БЛА, а также на развитие способностей обучающихся.

Формирование у специалистов РЭБ компетенций, необходимых для выполнения задач борьбы с СУ БЛА предлагается осуществить в три этапа с использованием в учебном процессе проблемных и ситуационных методов обучения, разработанных моделей ситуаций, контекстных сценариев обучения, а также дидактических игр (таблица 2).

Таблица 2 – Варианты дидактических игр и ситуационных задач

№ п/п	Наименование
1	Дидактические игры
2	Оценка СУ БЛА в группировках войск противника должностными лицами пункта управления подразделения РЭБ
3	Организация работы боевого расчета пункта управления роты при управлении средствами роты радиопомех при ведении радиоподавления СУ БЛА
4	Ситуационные задачи
5	Распознавание типов БЛА по внешнему виду
6	Распознавание типов БЛА по условным обозначениям
7	Прогнозирование профиля полета БЛА РЭБ
8	Прогнозирование профиля полета разведывательного БЛА
9	Прогнозирование профиля полета ударного БЛА
10	Прогнозирование типов применяемых головок самонаведения авиационного оружия с БЛА
11	Прогнозирование рубежей пуска авиационного оружия с БЛА
12	Выявление уязвимых звеньев в системе управления БЛА
13	Выявление объектов и целей радиоподавления в СУ БЛА
14	Ситуации оценки обстановки
15	Оценка радиоэлектронной обстановки в интересах выполнения задач дезорганизации СУ БЛА
16	Оценка бортового РЭО БЛА
17	Ситуации принятия решения, организации управления, взаимодействия и всестороннего обеспечения
18	Принятие решений на боевое применение подразделения РЭБ для дезорганизации СУ БЛА

19	Организация управления, взаимодействия и всестороннего обеспечения при выполнении задач дезорганизации СУ БЛА подразделением РЭБ
----	--

На первом этапе должна происходить подготовка специалистов РЭБ к выполнению функциональных обязанностей в составе боевых расчетов средств и комплексов РЭБ. На втором этапе осуществляется подготовка к выполнению задач в составе боевых расчетов подразделений РЭБ. На этом этапе у специалистов РЭБ формируются умения, навыки и компетенции, необходимые для оценки радиоэлектронной обстановки, анализа ситуаций, принятия решения на боевое применение подразделений РЭБ, управления подразделениями. На наш взгляд главная цель третьего этапа, охватывающего, в основном, четвертый и пятый курсы обучения, состоит в подготовке специалистов РЭБ к выполнению задач в должности командира подразделения РЭБ и направленности обучения на развитие их мышления, формирование комплексных умений, навыков и компетенций, необходимых для выполнения задач борьбы с СУ БЛА.

Практическая подготовка специалистов РЭБ к выполнению задач борьбы с системами управления БЛА осуществляется с использованием различных вариантов ситуационных задач (рисунок 2), разработанных на основе результатов анализа вариантов боевого применения БЛА в системах информационного обеспечения боевых действий войск.


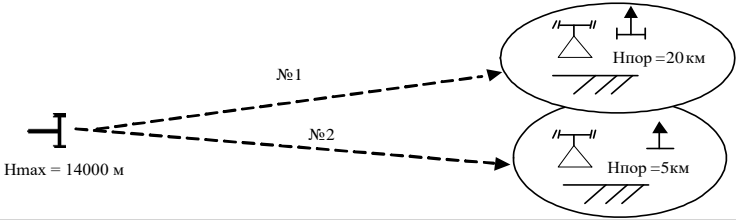
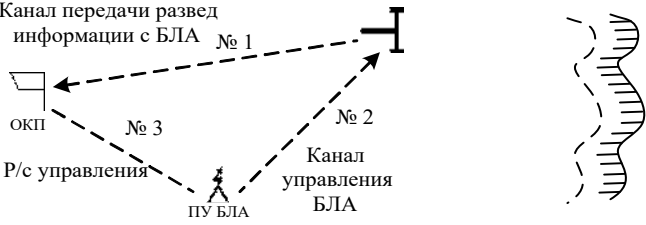
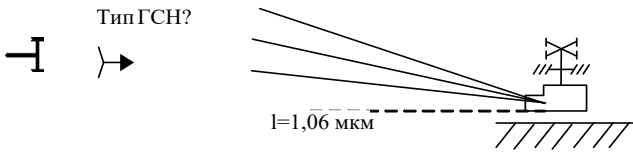
<p>Цель: Формирование умений принятия решения в узновании БЛА по внешнему виду</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. MQ -1 «Предатор» 2. RQ-4 «Глобал Хок» 3. RQ -5 Hunter 4. RQ -11 Raven 5. RQ -7A «Шэдоу-200»
<p>Цель: Формирование умений для прогнозирования вероятных направлений полета БЛА</p> 	<p>Профиль полета</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. № 1 2. № 2
<p>Цель: Формирование умений определения уязвимых звеньев в системе управления БЛА</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. №1 Канал передачи развед информации 2. №2 Канал управления БЛА 3. №3 Р/с управления
<p>Цель: Развитие наглядно-образно мышления в процессе решения задач по определению типов ГСН</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Телевизионная 2. Тепловизионная 3. Лазерная 4. Радиолокационная активная

Рисунок 2 – Ситуационные задачи для подготовки специалистов РЭБ (вариант)

В целом, структурно-функциональный блок модели раскрывает динамику и механизмы подготовки специалистов РЭБ в вузе к выполнению задач борьбы с СУ БЛА.

Технологический блок модели включает содержание, формы, методы, средства, результаты обучения, а также контроль и оценку результатов обучения.

Дополнительное содержание обучения (таблица 3) отобрано на основе результатов анализа ТТХ БЛА, состава бортового РЭО и вооружения, решаемых задач, особенностей боевого применения БЛА, способов боевого применения подразделений РЭБ, роли БЛА в системе информационного обеспечения боевых действий соединений и объединений с использованием экспертного опроса. Экспертами выступили ученые, командиры воинских частей РЭБ, командиры подразделений, научные работники, специалисты в области РЭБ. Согласованность мнений экспертов оценивалась с использованием коэффициента конкордации и подтвердило согласованность мнений.

Таблица 3 – Дополнительное содержание обучения

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Экспертная оценка важности	Трудоемкость (час)
-------	-----------------------	---------------------	----------------------------	--------------------

1	Средства вооруженной борьбы	Характеристики БЛА. Состав бортового РЭО БЛА. Характеристика оружия, установленного на БЛА	0,12	15
2	Системы управления	Характеристика СУ БЛА, использование БЛА в системах информационного обеспечения боевых действий. Сетевое управления БЛА	0,1	12
3	Система наведения оружия	Системы управления и наведения оружия, установленного на БЛА	0,05	4
4	Система разведки и РЭБ	Организация систем разведки и РЭБ с использованием БЛА	0,08	10
5	Система связи и передачи данных	Системы связи и передачи данных, используемые для применения БЛА	0,05	4
6	Основы информационной и радиоэлектронной борьбы	Ведение разведки и РЭБ СУ БЛА в условиях сетевых принципов управления с применением противником БЛА	0,2	20
7	Боевое применение воинских частей и подразделений войск РЭБ.	Способы применения подразделений и средств РЭБ для борьбы с СУ БЛА, ведения радиоэлектронной и компьютерной разведки СУ БЛА. Комплексное применение разнородных сил и средств для подавления СУ БЛА. Организация и ведение компьютерной разведки СУ БЛА	0,3	45
8	Методика оценки РЭО	Оценка СУ БЛА, бортового РЭО БЛА	0,1	12
9	Итого		1,0	122

Основными формами обучения курсантов-специалистов РЭБ в вузе являются учебно плановые и служебно плановые. Основными методами обучения являются проблемные, ситуационные, практической работы.

Новые средства обучения включают ситуационные задачи, компьютерные полигоны, виртуальную среду обучения, ориентированные на подготовку специалистов РЭБ к выполнению задач борьбы с СУ БЛА. Модели ситуации, боевых эпизодов разработаны на основе анализа модели использования БЛА в системе информационного обеспечения боевых действий. Модели охватывает варианты дидактических игр, ситуационных задач, тесты. Для контроля уровня подготовки обучающихся предлагается использовать разработанные тестовые задачи, применительно к содержанию различных разделов обучения, перечню формируемых умений и навыков (рисунок 3).


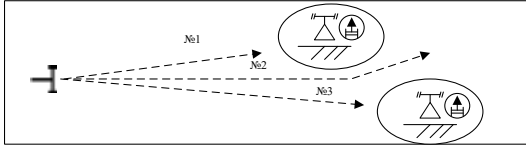
Уровни обученности	Задания	Варианты ответов
Знать	Состав системы управления БЛА	1. Пункт управления, операторы управления, каналы управления, бортовое оборудование. 2. Средства разведки, помех, навигации. 3. Каналы передачи информации с БЛА потребителям, бортовые средства разведки.
Уметь	Распознать тип БЛА? 	1. Хантер 2. Глобал Хок 3. Предатор
Уметь	Определить наиболее вероятный (безопасный) профиль полета БЛА? 	1. №1 2. №2 3. №3

Рисунок 3 – Тестовое задание (вариант)

Таким образом, обучение с использованием разработанной усовершенствованной модели позволит обеспечить качественную подготовку специалистов РЭБ в вузе к выполнению задач борьбы с системами управления БЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евграфов В. Перспективы использования зарубежными вооружёнными силами беспилотных летательных аппаратов для решения задач РЭБ. Зарубежное военное обозрение №10, 2009. С. 53-58.
2. Кондратьев А. Перспективы развития и применения беспилотных и роботизированных средств вооруженной борьбы в ВС ведущих зарубежных стран. Зарубежное военное обозрение №5, 2011. С. 14-21.
3. Чекунов Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах. Зарубежное военное обозрение №7, 2010. С. 41-50.
4. Владимиров Л.А. Атака из поднебесья. Обзор современных безбилетников. Журнал «Аэрокосмическое обозрение» №5 2011. С.15-17.
5. Донсков Ю.Е., Голубев С.В., Могилев А.В. Модель подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы к выполнению задач по информационной борьбе к выполнению задач по информационному обеспечению военных (боевых) действий. Военная мысль № 5, 2015. С. 47-51.

О.В. КОВЫЛОВ, кандидат военных наук, профессор кафедры организации и управления воздушным движением Академии гражданской защиты МЧС России

ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ПРОТИВОПРАВНЫХ ЦЕЛЯХ

В докладе проведен анализ возможностей неправомерного использования беспилотных воздушных судов и способов организационного и технического противодействия таким возможностям.

В последние годы во всем мире, также и в России, наблюдается стремительный рост заинтересованности в применении беспилотных воздушных судов (БВС) различными министерствами и ведомствами, а также гражданскими лицами.

Однако научно-технический прогресс сегодня движется столь стремительными темпами, что общество зачастую не успевает осознать, что оно живет уже в совершенно иных условиях, и появление новых видов услуг, расширяющих его возможности, одновременно ведет и к повышению его уязвимости. А потому общество не всегда успевает и своевременно реагировать на возникновение новых угроз.

Угроза использования БВС в террористических целях рассматривается экспертами и обсуждается в средствах массовой информации уже более двадцати лет. Вначале внимание было сосредоточено на больших аппаратах самолетного типа, случайным образом попавших в руки террористов. Способы борьбы с ними, в основном, вписывались в контекст совершенствования существующих систем ПВО развитых в военном отношении государств и не требовали принятия специальных мер.

Технологический прорыв в сфере производства беспилотных средств, мода на них привели к тому, что их количество стремительно растет. В США, например, зарегистрированных БВС стало значительно больше, чем пилотируемых летательных аппаратов, а численность зарегистрировавшихся операторов беспилотников перешагнула рубеж в 325 тысяч. Прогнозы специалистов говорят о том, что этот процесс еще только начинается.

К настоящему времени не известны прецеденты непосредственного применения БВС в терактах. Однако известно множество случаев нарушения ими правил использования воздушного пространства. Так, они совершали облеты ряда значимых объектов во Франции, включая Эйфелеву башню и посольство США, летали над Белым домом, вплотную подлетали к политикам на митингах. Лондонская полиция за два года зарегистрировала более двадцати инцидентов с использованием беспилотников. БВС уже активно используются преступниками для контрабанды и доставки запрещенных предметов в тюрьмы.

В такой ситуации террористические акты с использованием БВС становятся вполне реальными. Анализ показывает, что использование террористами БВС в качестве средств доставки уже сейчас является вполне посильной для них задачей с технической точки зрения. Дальнейшее развитие и широкое внедрение беспилотной техники в военной и гражданской сферах будут только способствовать возрастанию данной угрозы.

В средствах массовой информации появляются сообщения о том, что возможность применения БВС активно изучается террористами. Более того, в сети появились обучающие ролики, на которых показаны возможности применения с платформы мультикоптера не только пистолета и пулемета, но даже гранатомета и огнемета. Экстремистская группировка "Исламское государство" обнародовала серию видеозаписей использования БВС в разведывательных целях в Ираке.

Специалисты выделяют ряд свойств БВС, которые делают их привлекательными в глазах террористов:

- возможность атаки объектов, недостижимых для наземных средств доставки;
- возможность использования различных видов вооружения;
- возможность достижения большой точности применения;
- возможность программного и ручного управления;
- снижающаяся стоимость БВС за счет недорогих и становящихся все более доступными технических решений;
- доступность БВС в открытой продаже;
- возможность осуществления широкомасштабной атаки с большим количеством жертв;
- скрытость подготовки и старта БВС;
- малоразмерность, малозаметность (визуальная и для радиолокационных средств), малозаметность;
- практическое отсутствие возможностей противодействия полету БВС.

Требования, предъявляемые к БВС, предназначенному для доставки оружия заданной массы к цели, не так уж и высоки. Аппарат не будет испытывать больших перегрузок, поэтому в качестве носителя можно использовать относительно простые, легкие и устойчивые в полете конструкции с большой полезной нагрузкой. Подготовка к теракту, включая испытания, может быть осуществлена вполне легитимно, поскольку такая деятельность в настоящее время практически не контролируется.

В связи с этим, основной проблемой следует считать малоразмерные БВС, особенно мультикоптерного типа. Даже незначительная по массе целевая нагрузка – всего лишь в несколько килограммов – способна причинить значительный ущерб. Исходя из того, что вес полезной нагрузки может составлять примерно 10 – 30% общей массы БВС, можно сделать вывод основную угрозу на настоящий момент могут представлять беспилотники весом от трех до двадцати килограммов. Применительно к России наиболее вероятная угроза терроризма может исходить от любительских мини-БВС. Перспективы использования террористами более крупных

БВС представляются менее вероятными, хотя и такую возможность нельзя полностью сбрасывать со счетов.

Основная проблема борьбы средств ПВО с современными мини-БВС – это существенно меньшая их заметность в радиолокационном, тепловом и видимом диапазоне вследствие небольших габаритных размеров, широкого применения композитных материалов в конструкции, использования электрических, либо компактных двигателей внутреннего сгорания и двигателей на новых принципах, применения компактных малоизлучающих целевых нагрузок на современной элементной базе.

Получить БВС террористы могут различными путями. Это - хищение серийно производимых и экспериментальных БВС военного и, скорее всего, гражданского назначения, создание БВС на основе коммерчески доступных технологий и комплектующих, переоборудование радиоуправляемых моделей, или, что самое простое и самое вероятное - оснащение оружием доступных в открытой продаже БВС.

Объектами терактов и наиболее уязвимыми целями являются места скопления большого количества людей – спортивные, культурные, политические и другие массовые мероприятия, густонаселенные районы, общественный транспорт в часы пик, самолеты на этапах взлета и посадки и т.п. Целью атаки террористов могут оказаться и ключевые объекты, разрушение которых может повлечь жертвы, вызвать большой экологический или экономический ущерб, хаос и панику. Эта задача более сложна с технической точки зрения, поскольку предпринимаются серьезные усилия по охране таких объектов.

С большей степенью вероятности ни на этапе пуска, ни в процессе полета теракт предотвратить не удастся, даже если носитель будет замечен сторонними наблюдателями. Опыт показал, что люди еще не готовы рассматривать БВС как угрозу, БВС представляется скорее как любопытный объект для наблюдения. Более того, у соответствующих российских государственных структур понимание угрозы терроризма с применением БВС, адекватная оценка этой угрозы и стратегия ее предотвращения также не вполне сформированы.

В авиационных изданиях предлагается целый ряд способов прекращения несанкционированного полета БВС, включая такую экзотику, как беспилотные перехватчики или специально дрессированные хищные птицы. К достаточно реальным необходимо отнести следующие возможные направления действий:

строгое ограничение доступа к БВС с большой массой полезной нагрузки. Эта мера должна включать те же правила, что и для огнестрельного оружия (контролируемую продажу организациям, имеющим соответствующую лицензию, либо совершеннолетним адекватным законопослушным гражданам, обладающим минимальными специальными знаниями, организацию хранения);

прошивку в программное обеспечение БВС запрещенных для полетов зон, ограничений по высоте;

обязательную регистрацию БВС уже при продаже с нанесением идентификационных знаков, позволяющих определить владельца;

оснащение всех БВС проблесковыми аэронавигационными огнями;
разработку нормативно-правовой базы регламентирующей применение БВС;
разработку технических средств контроля воздушного пространства в зонах, закрытых для полетов БВС;

создание средств противодействия несанкционированным полетам БВС и оснащение ими подразделений силовых структур (возможно, даже создание специальных подразделений в правоохранительных органах).

В дальнейшем следует решать задачи обнаружения, а также подавления работы радиоэлектронных систем управления БВС. Для «ослепления» необходимо создать помехи на частотах, на которых ведется управление им. Большинство современных БВС имеют канал управления в диапазоне 2,4 — 2,5 ГГц. При потере сигнала управления БВС может «зависнуть» в пространстве до окончания зарядки аккумулятора или возобновления канала управления, поэтому появляется вероятность перехвата и уничтожения летательного аппарата.

Однако современные БВС при потере связи с оператором способны вернуться в точку старта, либо продолжить полет по заранее заданной программе (маршруту) и выполнить поставленные задачи, используя для определения положения в пространстве, направления и дальности системы спутниковой навигации, такие, как GPS и GLONASS. Поэтому, чтобы не допустить «эвакуации» беспилотника, средства радиоэлектронной борьбы должны подавлять не только канал управления, но и сигналы навигационной системы. В результате успешного «глушения» всех этих сигналов противник с высокой вероятностью лишится техники, попавшей в зону действия средств подавления.

Сегодня готовых решений для достижения необходимого результата на рынке обеспечения безопасности не так много. Одно из них - «Штора-2» производства АО «Кобра», предназначенное для блокирования приёмных устройств комплексов, использующих в своей работе спутниковые навигационные системы NAVSTAR и ГЛОНАСС, а так же каналы управления летательных аппаратов.

В изделии ШТОРА-2 можно выделить следующие важные особенности: эффективное блокирование работы устройств использующих спутниковые навигационные системы NAVSTAR и ГЛОНАСС на большой дальности действия. Возможно использование от напряжения 24 В и 220 В, что позволяет использовать изделие как в стационарном положении, так и на транспортных средствах. Защита антенного блока от атмосферных выпадающих осадков и воздействия солнечного излучения позволяет использовать блокиратор в сложных погодных условиях.

Способно блокировать каналы навигации GPS и GLONASS, каналы управления, каналы передачи видеоизображения.

Приведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что защититься от БВС террористов, шпионов и контрабандистов после старта сейчас практически невозможно, а поэтому основной акцент борьбы с этой угрозой должен быть сделан на предотвращении несанкционированного применения БВС. Представляется, что эта задача не может быть решена одними лишь усилиями спецслужб без привлечения

общества. По меньшей мере, общественность должна адекватно осознавать степень угрозы и понимать потенциальные ее последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 31.12.2015) (с изменениями и дополнениями, вступ. в силу с 01.04.2016).
2. «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации». Постановление Правительства РФ от 11 марта 2010 г. N 138 (с изм. и доп., вступ. в силу с 4.08.2015 г.).
3. Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации». Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 25 ноября 2011 г. № 293.
4. ГОСТ Р 56122-2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 сентября 2014 г. № 1130-ст.
5. Циркуляр 328 ИКАО. Беспилотные авиационные системы (БАС).
6. Межведомственная концепция создания перспективных комплексов с беспилотными летательными аппаратами на период до 2025 года (утверждена министрами МВД, МО, МЧС, Минпромторга, директором ФСБ), Москва, 2013 г.
7. Мясников Е.В. Угроза терроризма с использованием беспилотных летательных аппаратов: технические аспекты проблемы. – Центр по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ, Долгопрудный, 2004 г. – 29 с.
8. Новости авиации и космонавтики из интернета №5 (875) от 11.02.16 г.

А.А. КОТОВ, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник филиала Военной академии РВСН им. Петра Великого

МЕТОДИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ БОЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Для оценки успешного выполнения мероприятий боевого обеспечения войск на основе применения робототехнических комплексов наземного базирования (РТК НБ) и беспилотных летательных аппаратов (БЛА) осуществим постановку задачи с позиций системного анализа, в которой должно быть известно:

множество мероприятий боевого обеспечения, выполняемых войсками, $\{Z_{\text{БО}}\}$;

множество мероприятий боевого обеспечения, выполняемых БЛА, $\{Z_{\text{БЛА}}\}$;

множество мероприятий боевого обеспечения, выполняемых РТК НБ, $\{Z_{\text{РТК}}\}$;

множество технико-экономических характеристик БЛА, $\{X_{\text{БЛА}}\}$;

множество технико-экономических характеристик РТК НБ, $\{X_{\text{РТК}}\}$;

множество условий эксплуатации БЛА, $\{Э_{\text{БЛА}}\}$;

множество условий боевого применения БЛА, $\{В_{\text{БЛА}}\}$;

множество условий эксплуатации РТК НБ, $\{Э_{\text{РТК}}\}$;

множество условий боевого применения РТК НБ, $\{В_{\text{РТК}}\}$;

множество характеристик человеческого фактора, $\{X_{\text{ч}}\}$;

множество характеристик природной среды, $\{X_{\text{п}}\}$;

множество характеристик диверсионно-разведывательных формирований (ДРФ) противника, $\{X_{\text{ДРФ}}\}$;

множество значений временного параметра, $\{T\}$.

Основными допущениями при решении данной задачи исследования являются:

противник планирует воздействовать по войскам с помощью ДРФ;

БЛА и РТК НБ могут выполнять мероприятия боевого обеспечения войск совместно или раздельно;

части и подразделения обеспечены необходимыми материальными средствами и укомплектованы личным составом согласно штата;

система оперативного боевого управления обеспечивает доведение информации до различных звеньев управления войсками.

Требуется оценить успешность выполнения мероприятий боевого обеспечения войск на основе применения РТК НБ и БЛА в условиях военного и мирного времени.

При этом под боевым (оперативным) обеспечением понимается комплекс мероприятий, осуществляемых в целях создания благоприятных условий для

успешного ведения боевых действий частями и подразделениями и снижения эффективности воздействия по ним противника в любых условиях обстановки. Боевое обеспечение включает: разведку; радиоэлектронную борьбу; тактическую маскировку; ядерное обеспечение; инженерное обеспечение; радиационную, химическую и биологическую защиту; контроль прицеливания и астрономо-геодезическое обеспечение; гидрометеорологическое обеспечение; охранение [1].

Так как рассматриваемый процесс является стохастическим, то оценка успешности выполнения мероприятий может быть проведена с использованием вероятностных показателей (вероятности успешного выполнения мероприятий боевого обеспечения, гарантированной вероятности выполнения мероприятий боевого обеспечения, вероятности выполнения M мероприятий из их общего числа Z , среднего гарантированного результата, математического ожидания числа успешно выполненных мероприятий и др.). Для принятия окончательного решения (выбора рационального варианта боевого обеспечения) необходимо воспользоваться критерием пригодности в различных видах, учитывая что оптимизационными и адаптивными методами данную задачу решить невозможно ввиду ее объемности, сложности, разнородности и неопределенности части исходной информации [2-4].

Тогда формализованная постановка задачи исследования имеет вид:

найти рациональный вариант боевого обеспечения войск на основе применения РТК НБ и БЛА U^* , принадлежащих множеству вариантов U , при котором значение математического ожидания числа успешно выполненных мероприятий боевого обеспечения будет наибольшим из допустимых, т. е.

$$U^* \in U: M_{\text{усп}}(t) = \sup M_{\text{усп}}^*(t), \quad (1)$$

где $\sup M_{\text{усп}}^*(t)$ определяется методом перебора полученных расчетных значений математического ожидания в выборке из их генеральной совокупности.

Аналогичные рассуждения относительно постановки задачи можно привести с использованием других вероятностных показателей, приведенных выше.

Расчетные значения математического ожидания числа успешно выполненных мероприятий находятся по формуле [9]

$$M_{\text{усп}}(t) = \sum_{i=1}^Z P_{\text{усп}_i}(t), \quad (2)$$

где $P_{\text{усп}_i}(t)$ – вероятность успешного выполнения i -го мероприятия боевого обеспечения РТК НБ и/или БЛА;

Z – общее число выполняемых мероприятий.

Исходя из вербальной постановки задачи исследования, логически составим выражение целевой функции успешного выполнения одного мероприятия боевого обеспечения на основе применения одного РТК НБ.

Тогда для условий военного времени получим следующее выражение

$$P_{\text{усп}}^{H1}(t_{\text{в}}) = K_{\text{лс}}(t)K_{\text{п}}(t)P_{\text{б}}(t)P_{\text{обн}}(t)P_{\text{р}}(t)P_{\text{с}}(t)P_{\text{нп}}(t)P_{\text{у}}(t)P_{\text{поп}}(t)P_{\text{пор/поп}}(t), \quad (3)$$

где все составляющие больше нуля, сверху ограничены единицей и не учитываются корреляционные связи между показателями; $K_{лс}(t)$ – коэффициент, характеризующий готовность личного состава к выполнению мероприятий (боевых задач); $K_{п}(t)$ – коэффициент, учитывающий природные факторы: лесистость, рельеф местности, дорожные условия, облачность, ветер, туман и др.; $P_{б}(t)$ – вероятность безотказной работы (надежность применения) РТК НБ; $P_{обн}(t)$ – вероятность обнаружения: ДРФ противника; завалов; пожаров; разрушений мостов, дорог; заражений местности в позиционном районе войск; $P_{р}(t)$ – вероятность распознавания вышеперечисленных событий; $P_{с}(t)$ – вероятность скрытного функционирования РТК НБ; $P_{у}(t)$ – вероятность передачи информации на пункт управления; $P_{нп}(t)$ – вероятность не поражения РТК НБ; $P_{поп}(t)$ – вероятность попадания в диверсанта при стрельбе; $P_{пор/поп}(t)$ – вероятность поражения диверсанта при попадании в него.

Для условий мирного времени (воздействие противника отсутствует) выражение целевой функции примет вид

$$P_{усп}^{H1}(t_M) = K_{лс}(t)K_{п}(t)P_{б}(t)(1 - P_{обн}(t))(1 - P_{р}(t)) \cdot P_{у}(t). \quad (4)$$

В свою очередь, вероятности не выполнения одного мероприятия боевого обеспечения РТК НБ определяются на основе понятия противоположного события с учетом (3) и (4), т. е.

$$P_{нв}(t_B) = 1 - P_{усп}(t_B); \quad (5)$$

$$P_{нв}(t_M) = 1 - P_{усп}(t_M). \quad (6)$$

Следует отметить, что для получения конкретных выражений составляющих в (3) необходимо выбрать теоретические законы распределения значений случайных величин, опираясь на теоремы и методы теорий вероятности, эффективности, исследования операций в военном деле и математической статистики, с помощью которых можно получить расчетные значения (оценки) составляющих и целевой функции. В рассматриваемом случае можно выбрать экспоненциальный и нормальный законы распределения, так как их применимость подтверждена практикой решения аналогичных задач [2,3,5,6]. При этом для определения значений коэффициентов и вероятностей в целевой функции (3) необходимо воспользоваться эмпирическими данными, например полученными в ходе проведения испытаний, войсковых учений и др.

В случае выполнения N мероприятий боевого обеспечения одним РТК наземного базирования вероятности успешного выполнения рассматриваемых мероприятий в военное время будут иметь вид:

$$P_{успN}^{H1}(t_B) = P_{усп1}^{H1}(t_B) \cdot P_{усп2}^{H1}(t_B) \dots P_{успk}^{H1}(t_B) \dots = \prod_{i=1}^N P_{успi}^{H1}(t_B); \quad (7)$$

$$P_{успN}^{H1}(t_M) = P_{усп1}^{H1}(t_M) \cdot P_{усп2}^{H1}(t_M) \dots P_{успk}^{H1}(t_M) \dots = \prod_{i=1}^N P_{успi}^{H1}(t_M), \quad (8)$$

где $P_{успi}^{H1}(t_B)$ определяется по формуле (3), а $P_{успi}^{H1}(t_M)$ – по формуле (4).

При выполнении одного мероприятия боевого обеспечения несколькими (W) РТК НБ имеем

$$P_{\text{усп } W}^{H1}(t_B) = 1 - \prod_{j=1}^W (1 - P_{\text{усп } j}^{H1}(t_B)), \quad (9)$$

где $P_{\text{усп } j}^{H1}(t_B)$ определяется по формуле (3).

Выражение, аналогичное (9) для условий мирного времени, получим в виде

$$P_{\text{усп } W}^{H1}(t_M) = 1 - \prod_{j=1}^W (1 - P_{\text{усп } j}^{H1}(t_M)), \quad (10)$$

где $P_{\text{усп } j}^{H1}(t_M)$ определяется по формуле (4).

Для идентичных условий выполнения мероприятий боевого обеспечения РТК НБ формулы (9) и (10) примут вид:

$$P_{\text{усп } W}^{H1}(t_B) = 1 - (1 - P_{\text{усп}}^{H1}(t_B))^W; \quad (11)$$

$$P_{\text{усп } W}^{H1}(t_M) = 1 - (1 - P_{\text{усп}}^{H1}(t_M))^W. \quad (12)$$

В случае выполнения M мероприятий боевого обеспечения одним БЛА вероятности успешного выполнения рассматриваемых мероприятий в условиях военного и мирного времени будут иметь вид:

$$P_{\text{усп } M}^{B1}(t_B) = P_{\text{усп } 1}^{B1}(t_B) \cdot P_{\text{усп } 2}^{B1}(t_B) \dots P_{\text{усп } k}^{B1}(t_B) \dots = \prod_{i=1}^M P_{\text{усп } i}^{B1}(t_B), \quad (13)$$

$$P_{\text{усп } M}^{B1}(t_M) = P_{\text{усп } 1}^{B1}(t_M) \cdot P_{\text{усп } 2}^{B1}(t_M) \dots P_{\text{усп } k}^{B1}(t_M) \dots = \prod_{i=1}^M P_{\text{усп } i}^{B1}(t_M). \quad (14)$$

При выполнении одного мероприятия боевого обеспечения несколькими (V) БЛА имеем

$$P_{\text{усп } V}^{B1}(t_B) = 1 - \prod_{j=1}^V (1 - P_{\text{усп } j}^{B1}(t_B)); \quad (15)$$

$$P_{\text{усп } V}^{B1}(t_M) = 1 - \prod_{j=1}^V (1 - P_{\text{усп } j}^{B1}(t_M)), \quad (16)$$

где $P_{\text{усп } j}^{B1}(t_B)$ определяется по формуле (3) без учета вероятностей попадания и поражения, если БЛА не является средством огневого воздействия по ДРФ;

$P_{\text{усп } j}^{B1}(t_M)$ определяется по формуле (4).

Для идентичных условий выполнения мероприятий боевого обеспечения БЛА формулы (15) и (16) примут вид:

$$P_{\text{усп } V}^{B1}(t_B) = 1 - (1 - P_{\text{усп}}^{B1}(t_B))^V; \quad (17)$$

$$P_{\text{усп } V}^{B1}(t_M) = 1 - (1 - P_{\text{усп}}^{B1}(t_M))^V. \quad (18)$$

При этом вероятности невыполнения мероприятий боевого обеспечения РТК НБ и БЛА в рассмотренных случаях определяются по выражениям (5) и (6) с учетом выражений (7-18).

В случае раздельного выполнения N мероприятий боевого обеспечения W РТК НБ и M мероприятий боевого обеспечения V БЛА вероятности успешного выполнения указанных мероприятий в условиях мирного и военного времени можно определить с учетом (7), (8), (13) и (14) по формулам:

$$P_{\text{усп } N}^{HW}(t_{\text{в}}) = 1 - \prod_{j=1}^W \left(1 - P_{\text{усп } N_j}^{H1}(t_{\text{в}})\right); \quad (19)$$

$$P_{\text{усп } N}^{HW}(t_{\text{м}}) = 1 - \prod_{j=1}^W \left(1 - P_{\text{усп } N_j}^{H1}(t_{\text{м}})\right); \quad (20)$$

$$P_{\text{усп } M}^{BV}(t_{\text{в}}) = 1 - \prod_{j=1}^V \left(1 - P_{\text{усп } M_j}^{B1}(t_{\text{в}})\right); \quad (21)$$

$$P_{\text{усп } M}^{BV}(t_{\text{м}}) = 1 - \prod_{j=1}^V \left(1 - P_{\text{усп } M_j}^{B1}(t_{\text{м}})\right). \quad (22)$$

Для идентичных условий раздельного выполнения мероприятий боевого обеспечения РТК НБ и БЛА выражения (19) - (22) примут вид:

$$P_{\text{усп } N}^{HW}(t_{\text{в}}) = 1 - \left(1 - P_{\text{усп } N}^{H1}(t_{\text{в}})\right)^W; \quad (23)$$

$$P_{\text{усп } N}^{HW}(t_{\text{м}}) = 1 - \left(1 - P_{\text{усп } N}^{H1}(t_{\text{м}})\right)^W; \quad (24)$$

$$P_{\text{усп } M}^{BV}(t_{\text{в}}) = 1 - \left(1 - P_{\text{усп } M}^{B1}(t_{\text{в}})\right)^V; \quad (25)$$

$$P_{\text{усп } M}^{BV}(t_{\text{м}}) = 1 - \left(1 - P_{\text{усп } M}^{B1}(t_{\text{м}})\right)^V. \quad (26)$$

При этом вероятности не выполнения мероприятий боевого обеспечения РТК НБ и БЛА в рассматриваемых условиях определяются по выражениям (5) и (6) с учетом выражений (19)-(26).

В случае совместного выполнения мероприятий боевого обеспечения W РТК НБ и V БЛА вероятности успешного выполнения рассматриваемых мероприятий в условиях военного и мирного времени с учетом выражений (15)-(22) имеют вид:

$$P_{\text{усп } NM}^{WV}(t_{\text{в}}) = 1 - [(1 - P_{\text{усп } N}^{HW}(t_{\text{в}}))(1 - P_{\text{усп } M}^{BV}(t_{\text{в}}))]; \quad (27)$$

$$P_{\text{усп } NM}^{WV}(t_{\text{м}}) = 1 - [(1 - P_{\text{усп } N}^{HW}(t_{\text{м}}))(1 - P_{\text{усп } M}^{BV}(t_{\text{м}}))]. \quad (28)$$

Следовательно, исходя из постановки задачи исследования математическое ожидание числа успешно выполненных мероприятий боевого обеспечения войск в условиях мирного и военного времени при раздельном и совместном применении РТК НБ и БЛА определяется на основе использования выражений вероятностей, представленных выше.

Кроме того, в случае выполнения K мероприятий боевого обеспечения из Z можно использовать формулу Бернулли [6]:

для условий военного времени

$$P_{\text{усп } KZ}(t_{\text{в}}) = C_Z^K \cdot P_{\text{усп}}^K(t_{\text{в}})(1 - P_{\text{усп}}(t_{\text{в}}))^{Z-K}, \quad (29)$$

для условий мирного времени

$$P_{\text{усп } KZ}(t_{\text{м}}) = C_Z^K \cdot P_{\text{усп}}^K(t_{\text{м}})(1 - P_{\text{усп}}(t_{\text{м}}))^{Z-K}, \quad (30)$$

где C_Z^K – число сочетаний выполняемых мероприятий боевого обеспечения

$$C_Z^K = Z! / K! (Z - K)!. \quad (31)$$

При этом вероятности, входящие в выражения (29) и (30), определяются по вышеприведенным формулам.

Гарантированную вероятность успешного выполнения Z мероприятий боевого обеспечения РТК НБ и БЛА в условиях военного и мирного времени можно найти по выражениям, исходя из закона Пуассона [6]:

$$P_r(Z, t_{\text{в}}) = \exp(-\lambda_{\text{в}} t_{\text{в}}) \sum_{K=0}^Z \frac{(\lambda_{\text{в}} t_{\text{в}})^K}{K!}; \quad (32)$$

$$P_r(Z, t_{\text{м}}) = \exp(-\lambda_{\text{м}} t_{\text{м}}) \sum_{K=0}^Z \frac{(\lambda_{\text{м}} t_{\text{м}})^K}{K!}, \quad (33)$$

где $\lambda_{\text{в}}, \lambda_{\text{м}}$ – интенсивности выполнения мероприятий боевого обеспечения в военное и мирное время, определяемые по опытным (статистическим) данным как $\lambda_{\text{в}} = 1/T_{\text{в}}$ и $\lambda_{\text{м}} = 1/T_{\text{м}}$, где $T_{\text{в}}, T_{\text{м}}$ – средние времена выполнения мероприятий боевого обеспечения в военное и мирное время соответственно.

Таким образом, осуществлены вербальная и формализованная постановки задачи исследования, а также разработаны процедуры ее решения, позволяющие оценить успешность выполнения мероприятий боевого обеспечения войск при раздельном и совместном применении РТК НБ и БЛА в условиях мирного и военного времени. Полученные результаты могут быть полезны при определении места, роли и границ применимости робототехнических комплексов в человеко-машинной системе при выполнении мероприятий боевого обеспечения войск.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия Ракетных войск стратегического назначения / Под общей ред. Н.Е. Соловцова. – М.: РВСН, 2009. – 860 с.
2. Айзерман М.А., Алексеров Ф.Г. Выбор вариантов: основы теории. – М.: Изд. «Наука», 1990. – 316 с.
3. Воробьев С.Н., Уткин В.Б. Теория обоснования военно-технических решений. М.: РВСН, 2003. – 468 с.
4. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев. М.: Физматлит, 2007. – 64 с.
5. Котов А.А., Дмитриев С.Ю. Основные положения методики успешного формирования базы данных с учетом ее старения и обновления // Качество. Инновации. Образование. – 2014, №5. – С. 51-55.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Дрофа, 2004. – 208 с.

В.Б. КРОВЯКОВ, с.н.с. 6 НИО НИЦ БП и О ВВС ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

Е.В. ИЛЬИНОВ, кандидат военных наук, доцент, начальник НИЦ БП и О ВВС ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

М.В. ТРОФИМЧУК, с.н.с. 6 НИО НИЦ БП и О ВВС ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

А.А. ГОЛОВНЕВ, лаборант 6 НИО НИЦ БП и О ВВС ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫЙ МУЛЬТИКОПТЕР

Анализ существующих и перспективных конструкций отечественных и зарубежных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) показывает, что их развитие идет в направлении копирования пилотируемых летательных аппаратов. Это касается прежде всего, БЛА самолетного типа. В области развития БЛА вертолетного типа развитие идет более медленными темпами, но именно здесь появился класс аппаратов, отличных по конструктивному устройству от существующих вертолетов – многовинтовые винтокрылые летательные аппараты (мультикоптеры), отношение к которым остается достаточно скептическим, как к аппаратам, способным выполнять узкий круг специфических задач в силу их малой скорости, продолжительности полета, грузоподъемности. Хотя первый в истории квадрокоптер Г.А. Ботезата в 1922 и 1923 годах совершил порядка 100 полетов, выполняя вполне «взрослую» работу: при массе 1633 кг и мощности двигателя 180 лошадиных сил он поднимал груз весом 450 кг.

Винтокрылые БЛА при решении определенного круга задач имеют некоторые несомненные преимущества перед БЛА самолетного типа и вертолетной традиционной схемы:

возможность зависания вблизи требуемых объектов, что позволяет осуществлять работу, недоступную для других типов БЛА;

возможность осуществления требуемой работы, например, применения бортового вооружения, с малых расстояний;

возможность осуществления посадки и взлета на неподготовленных площадках, отсутствие необходимости в организации старта и посадки;

отличаются большей устойчивостью в полете и большей грузоподъемностью, чем БЛА вертолетного типа традиционной схемы.

К существенным конструктивным недостаткам существующих мультикоптеров следует отнести:

размещение полезной нагрузки вне фюзеляжа;

ограниченный диапазон управления рабочим органом полезного оборудования.

Что касается размещения полезной нагрузки вне фюзеляжа – это общая конструктивная проблема летательных аппаратов всех типов. В случае принципиаль-

ной невозможности размещения оборудования и грузов в обводах фюзеляжа, они размещаются в контейнерах, превращая боевой летательный аппарат в «контейнеровоз». Такая «интеграция» зачастую является вынужденным решением, принимаемым без учета его негативного влияния на летно-технические и эксплуатационные характеристики носителя [1].

Существенным для обеспечения функционального назначения мультикоптера является возможность управления в максимально возможном диапазоне ориентацией рабочего органа полезного оборудования, каковым могут быть объективы фото- видеокамер, тепловизионного оборудования, детекторов радиоактивного излучения, лазерных измерителей расстояний и геометрических параметров наблюдаемых объектов, стволы стрелкового и направляющие ракетного вооружения и пр. Ориентация рабочего органа по линии наведения (для наблюдения, измерения, прицеливания и других задач) в конструкциях существующих мультикоптеров в режиме полета осуществляется изменением пространственного положения корпуса (фюзеляжа) и изменением направления самого рабочего органа оборудования относительно корпуса, в режиме висения - изменением направления рабочего органа относительно корпуса. В обоих случаях диапазон управления рабочим органом ограничен конструктивным устройством мультикоптера, определяющим ограничение свободы позиционирования его фюзеляжа в пространстве при разных режимах висения и полета, и устройством специализированных консолей для размещения оборудования.

Размещение полезного оборудования вне фюзеляжа мультикоптера создает угрозу неблагоприятного воздействия на него атмосферных явлений и существенно ухудшает его аэродинамические характеристики. В то же время стационарное размещение оборудования в фюзеляже известных мультикоптеров еще более ограничивает диапазон управления его рабочим органом.

То есть, существует проблема, решение которой значительно расширило бы функциональные возможности мультикоптера. Заключается она в обеспечении возможности изменять пространственную ориентацию фюзеляжа мультикоптера с интегрированным в него стационарным полезным оборудованием в неограниченном диапазоне независимо от траектории и режима движения, включая режимы взлета, висения, горизонтального и вертикального полета, посадки.

Решена она может быть следующим образом [2]. На рисунке 1 представлена схема конструктивного устройства высокоманевренных мультикоптеров (квадро- и гексокоптера) с расширенными функциональными возможностями.

Мультикоптер имеет фюзеляж с установленным в нем стационарным полезным оборудованием, необходимое количество средств тяги с несущими винтами, каждое из которых расположено на раме, установленной на соответствующей выносной балке корпуса. Средства тяги установлены с возможностью как совместного, так и раздельного друг от друга поворота в рамах на угол не менее 180° , а рамы с возможностью как совместного, так и раздельного поворота вокруг оси балок на

угол 360^0 . Винты установлены с возможностью как совместного, так и раздельного друг от друга изменения силы и направления тяги.

На рисунке средства тяги 1 установлены на в рамках 2 с возможностью поворота плоскости винтов 3 относительно рам. Рамы 2 установлены на выносных балках 4 фюзеляжа 5 с возможностью поворота в перпендикулярной балкам плоскости. Несущие винты 3 установлены с возможностью изменения скорости и направления вращения и (или) лопасти винтов 3 установлены с возможностью изменения их шага, в том числе на отрицательный.

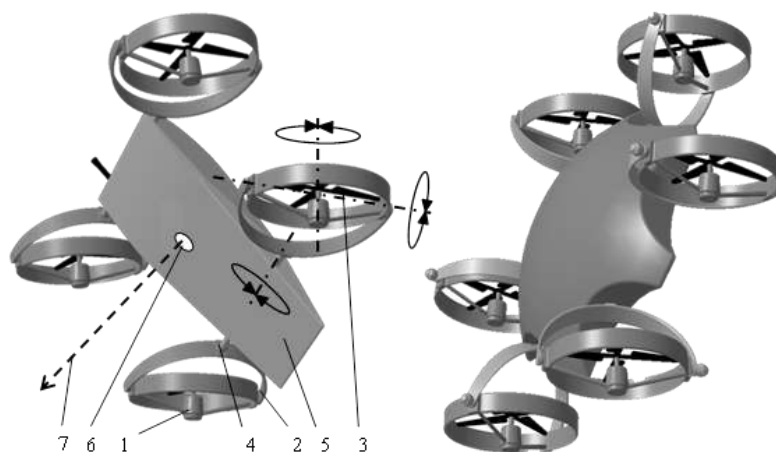


Рисунок 1 – Конструктивное устройство высокоманевренных мультикоптеров

Для поворота подвижных агрегатов мультикоптера – средств тяги 1, рам 2, лопастей несущих винтов 3 предусмотрены соответствующие механические, или серво-, или гидроприводы (на рисунок не показаны), конструкции которых известны. Согласованное совместное или раздельное управление положением подвижных агрегатов осуществляется с помощью известных командных систем управления. Таким образом, принципиальная возможность осуществления предложенной конструкции квадролета обеспечена общеизвестными техническими средствами.

Мультикоптер работает следующим образом. Согласованный поворот относительно фюзеляжа 5 плоскостей несущих винтов 3 и изменение силы и направления их тяги обеспечивается координированным посредством командной системы управления поворотом средств тяги 1 в рамках 2, рам 2 вокруг балок 4 фюзеляжа, изменением шага винтов 3 и (или) скорости и направления их вращения. Это создает суммарную составляющую векторов тяги каждого средства тяги 1, позволяющую совершать полет квадролета по любой заданной траектории и зависание при сохранении любой заданной пространственной ориентации фюзеляжа, следовательно, при любой заданной линии наведения 7 рабочего органа 6 полезного оборудования, стационарно установленного в фюзеляже.

Управление мультикоптером по тангажу, рысканью, крену осуществляется как известными приемами для управления мультикоптерами – изменением силы тяги несущих винтов, так и с использованием новых возможностей, определяемых новыми конструктивными особенностями представленного устройства – изменением

направления тяги несущих винтов за счет поворота плоскости винтов относительно фюзеляжа.

Положение фюзеляжа мультикоптера относительно направления тяги несущих винтов, при котором он может осуществлять горизонтальное висение и полет, представлено на рисунке 2.

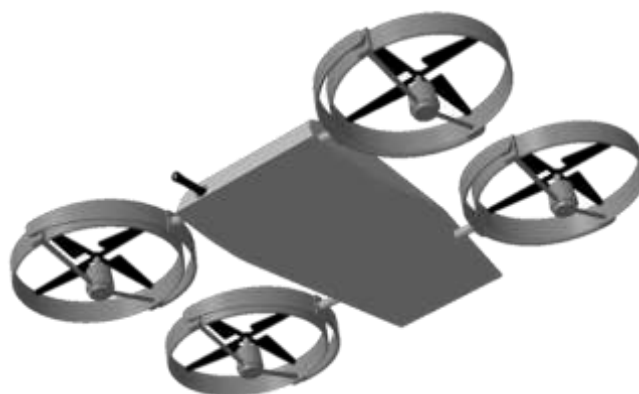


Рисунок 2 – Ориентация фюзеляжа мультикоптера при горизонтальном висении и полете

На рисунке 3 представлены манипуляции с управлением ориентацией фюзеляжа мультикоптера относительно направления тяги несущих винтов по тангажу и крену, при которых он может осуществлять все режимы полета и висения.

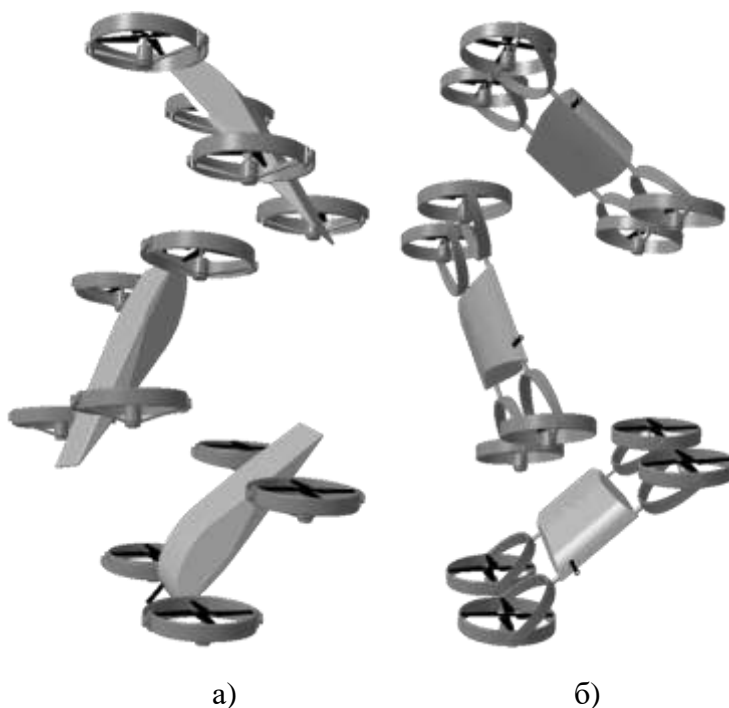


Рисунок 3 – Управление ориентацией фюзеляжа: а) по тангажу; б) по крену

В режиме горизонтального полета, как представлено на рисунке 4, часть доли подъемной силы берет на себя фюзеляж, если он выполнен в аэродинамической форме, что повышает экономичность и скорость квадролета при его перемещении от места базирования до места осуществления требуемой работы.

Побочным, но достаточно важным преимуществом представленного мультикоптера является то, что возможность неограниченной ориентации фюзеляжа отно-

сительности плоскости винтов средств тяги позволяет поддерживать подъемную силу без потери устойчивости при одном работающем двигателе. То есть он имеет возможность осуществить аварийную посадку при выходе из строя всех двигателей кроме одного, как представлено на рисунке 5, а при достаточной мощности двигателя и вернуться на место базирования.



Рисунок 4 – Возможность горизонтального полета мультикоптера с использованием аэродинамического качества его фюзеляжа



Рисунок 5 – Аварийная ориентация фюзеляжа при одном работающем двигателе

Таким образом, представленный мультикоптер может осуществлять наведение рабочего органа интегрированного в фюзеляж стационарного оборудования при облете наземных и воздушных объектов (или при зависании в их близости) в неограниченном диапазоне по горизонтали и вертикали. Точка наведения может располагаться в любом месте воображаемой сферы, в центре которой располагается мультикоптер (рисунок 6). По существу, представленному мультикоптеру не нужно осуществлять сложного маневрирования при наведении на цель, без чего не могут обойтись существующие БЛА и пилотируемые летательные аппараты.

Указанное обстоятельство особенно значимо при необходимости выполнения работы в условиях ограниченных пространственных объемов. Например, при работе внутри замкнутых объектов: помещений, объемных ферменных конструкций и пр., или при выполнении боевых задач в так называемой зоне безопасности от поражения средствами противовоздушной обороны противника вдоль линии фронта, которая, по мнению специалистов, ограничена по высоте 10 – 15 м и по

удаленности от линии 1 – 1,5 км. Ни один из существующих или находящихся в стадии проектирования образцов отечественной и зарубежной легкой штурмовой авиации не способен осуществлять необходимое для выполнения задач маневрирование без выхода из этой зоны.

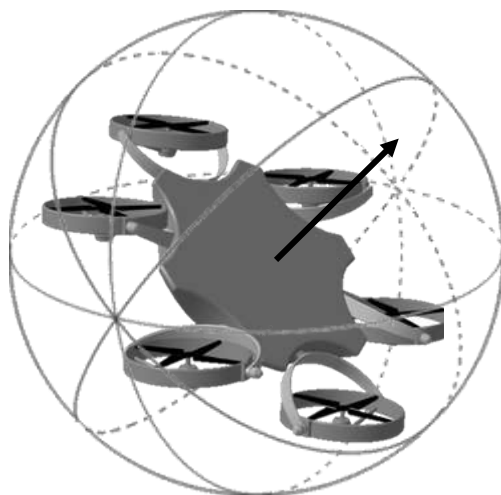


Рисунок 6 – диапазон ориентации направления рабочего органа мультикоптера

Такой БЛА может быть оснащен стрелково-пушечным и прочим вооружением, использующим боекомплект вооружения военнослужащих сухопутных войск. Взлет-посадка могут производиться с неподготовленных площадок со сложным рельефом местности. То есть он не требует при эксплуатации дорогостоящей дополнительной инфраструктуры. При этом управляющий им оператор может находиться на значительном удалении от места боевых действий, а жизненно важные элементы конструкции БЛА могут быть защищены от стрелкового оружия противника достаточно легким материалом, аналогичным материалу бронежилетов личного состава (кевлар, тварон и пр.). При работе на столь малой высоте БЛА может быть оснащен традиционными для сухопутных боевых подразделений средствами маскировки, такими как дымовая завеса.

Подобное оснащение сделает представленный мультикоптер эффективным средством поддержки подразделений сухопутных войск, находящихся в непосредственном соприкосновении с противником. Столь же эффективным может быть его применение при выполнении антитеррористических операций в лесных, горных и городских условиях. Несомненными преимуществами он будет обладать при решении задач борьбы в условиях конфликтов малой интенсивности со слабо вооруженными формированиями, к примеру, партизанскими.

Аналогично расширяются и возможности применения представленного БЛА при решении гражданских задач, таких как фото-, видеосъемка, выполнение разного рода измерений, мониторинг состояния гражданских объектов и пр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барковский В.И., Скопец Г.М., Степанов В.Д. Методология формирования технического облика экспортно ориентированных авиационных комплексов. ФИЗМАТЛИТ, Москва, 2008 г., 243 с.
2. Кровяков В.Б., Бирюков М.И. Квадролет. Патент РФ № 2547950, МКП В64С 27/08, В64С 27/28. Оpubл. 10.04.2015 г., бюл. № 10.

И.А. ЛОБАНОВ, старший инженер-программист
ИПУ РАН МАИ (НИУ)

А.В. РОЖНОВ, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник ИПУ РАН МАИ
(НИУ)

УПРАВЛЕНИЕ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕМ ПОЛЕ СМЕШАННЫМИ И РАЗНОТИПНЫМИ ГРУППАМИ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ РЕЖИМОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.

Актуальные вопросы оптимального управления смешанными и разнотипными группами пилотируемых и беспилотных (дистанционно-управляемых) летательных аппаратов (ЛА) при переключении режимов их функционирования в едином информационно-управляющем поле представляют собой наиболее интересные условия для экспериментальных изысканий и определения приоритетов развития т.н. перспективных автономных систем оружия летального действия. Непосредственно в данном докладе основное внимание уделяется некоторым особенностям системного анализа целевых задач современных комплексов средств пилотируемых (ПЛА) и беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в поисковых исследованиях условий и вариантов их информационного взаимодействия в распределенной системе интеллектуального управления, включающей внебортовую и бортовую компоненты ЛА [1-3].

Цель работы: обоснование прикладных технических решений, составляющих внешнее дополнение к задаче управления смешанными группами ПЛА и БЛА на основе концептуальной математической модели информационно-управляющего поля как среды функционирования [4-6]. В рассмотренном условном примере задачи управления в горизонтальной плоскости смешанной парой, образованной ПЛА и БЛА (пилотируемый является ведущим, а беспилотный – ведомым). Целью автоматического управления является сохранение ведомым БЛА заданного положения относительно ведущего ПЛА, в том числе при маневрировании последнего по положению и скорости.

Геометрическая иллюстрация задачи приведена на *рисунке 1*, где индекс L у параметра соответствует ПЛА, а W – БЛА. Здесь [1] переменные V_W , W_Ψ обозначают соответственно текущую скорость БЛА и его курсовой угол, а V_L , Ψ_L – аналогичные параметры движения пилотируемого ЛА. Движение ПЛА и БЛА рассматривается в инерциальной системе координат (СК) $OX_G Y_G$, в которой ось направлена на север. Курсовые углы обоих ЛА отсчитываются от этой оси. Кинематические соотношения [4], описывающие изменение взаимного положения ПЛА и БЛА удобнее представлять в подвижной системе координат $Ox_L Y_L$, центр которой совпадает с центром масс БЛА, а ось Oy_L направлена вдоль вектора скорости

V_W . В этой системе координат задаются параметры строя: дистанция X и интервал Y . Эти параметры представлены на *рисунок 1* вместе с другими параметрами, которые будут использованы в дальнейшем при синтезе алгоритма автоматического управления: R – линейное расстояние между ПЛА и БЛА, $\psi_E = \psi_L - \psi_W$ – текущее рассогласование между их курсовыми углами.

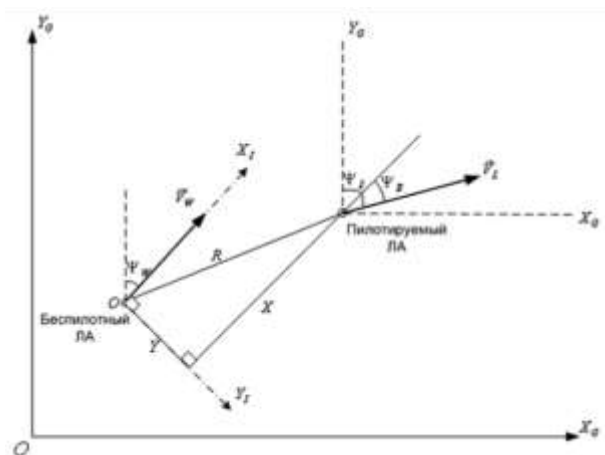


Рисунок 1 – Геометрическая иллюстрация задачи управления смешанной парой ЛА [1]

При проведении, в свою очередь, фундаментальных исследований [5], в интересах определения принципов построения систем интеллектуального управления, непосредственное внимание было уделено обоснованию первичных прикладных технических решений, улучшающих искомое качество взаимодействия внебортовых и бортовых компонентов.

Особенности переключения режимов управления описываются в оригинальной стратифицированной модели (СМ) для условий неполной ситуационной осведомленности [3, 7-9]; частный иллюстративный пример представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – К использованию трехмерного дисплея при уточнении задач смешанной группы ЛА / «Embed video into a time-based 3-D analytical display with live data feeds», AGI, 2006 [7]

Так, алгоритмическое и программно-математическое обеспечение применяемой модели учитывает формализацию критериев, устанавливающих требования к

перечню, составу и точностным характеристикам информационных потоков, циркулирующих в едином информационно-управляющем поле, выполнение которых создает предпосылки для успешного выполнения целевых задач смешанной группой ЛА. Интеллектуализация частных задач при переключении режимов управления в рассматриваемых условиях при этом предположительно расширяет возможности проектирования и управления динамическими системами, причем охватываются ранее недоступные к рациональному решению задачи, предлагая более гибкие формы их эффективного воплощения [10-12]:

задачи, в которых модели в форме уравнений динамики могут либо существенно уступать в эффективности своего использования СМ (как в задачах планирования действий в экспериментальной среде), либо применимы в сочетании с СМ;

с неизвестными или не вполне состоятельными с некоторого момента времени эксплуатации уравнениями динамики (сходные задачи выбора эффективных каналов управления для сложно реконфигурируемых комплексов, в объектах с реконфигурацией).

Предложенное демонстрационное новое техническое решение (инструментально-моделирующий комплекс исследования процессов управления и диспозиции сложного динамического объекта в группе), предназначено для исследования возможностей переключения режимов управления группой разнотипных ЛА [13-15]. Техническая эффективность предложенного решения достигается в расширении функциональных возможностей статистической оценки показателя частоты воздействия дестабилизирующих факторов за счёт сопряжения многоканального устройства матричной структуры с обратной связью и устройства для контроля и линеаризации передаточных характеристик многоканальных преобразователей. Экономическая эффективность устройства заключается в экономии средств за счет предварительных исследований внедряемой системы в случаях её работы в нештатном режиме, – что составляет стоимость замены либо всей аппаратуры, либо основных её блоков.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-08-00832а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н. Управление смешанными группами пилотируемых и беспилотных ЛА в условиях единого информационно-управляющего поля / Прил. к Инф. Бюлл. РФФИ № 23 // Вестник РФФИ. 2015, № 3 (87). С. 74-84.
2. Белавкин П.А., Федосеев С.А., Рожнов А.В., Лобанов И.А. Исследование стратегической мобильности проблемно-ориентированных систем управления и их позиционирование в условиях развития информационного пространства // Известия ЮФУ. 2013. Тем. вып. "Перспективные системы и задачи управления", № 3. С. 211-217.

3. Рожнов А.В., Белавкин П.А., Купач О.С., Лобанов И.А. Обоснование метода построения рациональной иерархии и стратифицированной модели ПрОСУ в условиях неполноты исходных данных / Шестая Всероссийская МКПУ (30 сентября – 5 октября 2013 г.) // Материалы мультikonференции: в 4 т. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2013. Т. 3 . С. 50-54.
4. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н. Концептуальная математическая модель ИУП как среды функционирования смешанных групп ЛА // Полет, 2010, № 7, С. 20-29.
5. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2000.
6. Купач О.С., Рожнов А.В., Гудов Г.Н. Диверсификация технологии анализа среды функционирования в прикладных сервисах геоинформационных интеллектуальных систем / Шестая Всероссийская МКПУ (30 сентября – 5 октября 2013 г.) // Материалы мультikonференции: в 4 т. Дивноморское: ЮФУ, 2013. Т. 4 (УРиСС-2013). С. 59-62.
7. Барышев П.Ф., Рожнов А.В., Губин А.Н., Лобанов И.А. Обоснование информационно-аналитической системы в развитии методов и моделей согласования иерархических решений // Динамика сложных систем. 2014, № 3. С. 43-52.
8. Рожнов А.В., Лобанов И.А., Бимаков Е.В. Обоснование задач системной интеграции и информационно-аналитическое моделирование ПрОСУ на предпроектном этапе жизненного цикла // XII ВСПУ. – М.: ИПУ РАН, 2014.
9. Гончаренко В.И., Лобанов И.А. Управление группой разнотипных дистанционно-управляемых робототехнических комплексов на примере высокоскоростных ЛА / Материалы 8-й Всероссийской МКПУ. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2015. Т. 2. С. 165-167.
10. Рожнов А.В. Творческие материалы «круглого стола». Часть II. Системная интеграция и моделирование новых эффектов в сфере интеллекта // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016, № 3.
11. Васильев С.Н., Козлов Р.И., Ульянов С.А. Устойчивость многорежимных формаций / Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 455, № 3. – С. 269–274.
12. Васильев С.Н., Дружинин А.Э., Морозов Н.Ю. Вывод условий сохранения свойств математических моделей / Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 465, № 1. – С. 14–19 .
13. Абросимов В.К., Захаров В.Л., Лобанов И.А., Рожнов А.В., Бажанов О.В. Инструментально-моделирующий комплекс исследования процессов управления и диспозиции сложного динамического объекта в группе. Патент РФ на полезную модель № 141445, МПК G 05 В 23/02. Бюлл. №16, МАИ (НИУ), опублик. 10.06.2014.
14. Будко Н.П., Будко П.А., Винограденко А.М., Дорошенко Г.П., Рожнов А.В., Минеев В.В., Мухин А.В. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2450335.

15. Рожнов А.В., Лобанов И.А. Актуальные вопросы системной интеграции в задачах акустического мониторинга БЛА и шумовой обстановки в городской среде / 18-я Международная конференция «DSPА-2016», 30 марта - 1 апреля 2016 (в печати).

ОЦЕНКА РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЛА

Стремительное развитие научно-технического прогресса привело к тому, что в вооруженных конфликтах последнего десятилетия большое распространение получил класс малоразмерных воздушных целей. Основными представителями этого класса являются крылатые ракеты (КР), беспилотные летательные аппараты (БЛА), управляемые авиационные бомбы (УАБ), противорадиолокационные ракеты (ПРР) и ложные воздушные цели (ЛВЦ). Применение этих типов МРЦ в вооруженных конфликтах является эффективным, безопасным и экономически выгодным для выполнения боевых задач по причине беспилотного способа управления, малых геометрических размеров, низкой тепловой контрастности, малой заметности в радиолокационном диапазоне (ЭПР в пределах от 0,001 до 0,3 м²), возможности действовать на предельно малых высотах.

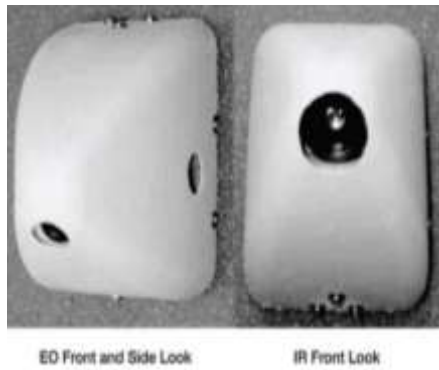
Наиболее важными из вышеперечисленных типов МРЦ с точки зрения ПВО являются БЛА и крылатые ракеты ввиду их массовости и высокой эффективности выполнения боевых задач по опыту локальных конфликтов.

Многие страны сегодня принимают на вооружении комплексы тактических разведывательных БЛА. Анализ состояния и развития армий иностранных государств говорит о том, что количество БЛА в составе типовых общевойсковых формирований может составлять от нескольких штук до нескольких десятков [1]. Количество малоразмерных БЛА в составе соединений США представлены в таблице 1.

Таблица 1 – количество малоразмерных БЛА в составе соединений США

Бригады	RQ-7 «Shadow»	RQ-11 «Raven»
«Тяжелая» бригада	Комплекс тактического разведывательного БЛА «Shadow» – 4 БЛА Shadow»	10 комплексов тактического разведывательного мини-БЛА «Raven» по 3 БЛА RQ-11 «Raven»
«Легкая» бригада	Комплекс тактического разведывательного БЛА «Shadow» – 4 БЛА Shadow»	3 комплекса тактического разведывательного мини-БЛА «Raven» по 3 БЛА RQ-11 «Raven»
Бригада «Страйкер»	Комплекс тактического разведывательного БЛА «Shadow» – 4 БЛА Shadow»	

Перечень задач решаемых с помощью БЛА довольно большой. Основным назначением этих аппаратов является разведка, наблюдение за полем боя и передача этой информации на пункты управления в реальном масштабе времени. Получение информации с помощью БЛА о состоянии, точном местоположении и характе-



Полезная нагрузка тактического БЛА «Raven»
 Назначение, тип: оптикоэлектронная/инфракрасная система для разведки и наблюдения;
 Минимальный элемент изображения (пиксель):
 768x494
 Высота ведения разведки: до 94 м.
 Масса:
 - оптикоэлектронная – 0,175 кг;
 - инфракрасная – 0,184кг.

Чаще всего полезную нагрузку тактических разведывательных БЛА будут составлять системы оптических устройств, размещаемых либо непосредственно в корпусе БЛА и жестко связанных с его конструкцией, либо с помощью гиросtabilизированных платформ. Совместная установка телевизионной и инфракрасной камер позволяет существенно повысить информативность получаемого изображения, а дополнение в виде лазерного дальномера-целеуказателя дает возможность точного определения координат цели.

Для определения и сравнения возможностей разведывательных БЛА был проведен расчет количества объектов которые могут быть обнаружены тем или иным комплексом с БЛА.

Технические возможности микро и мини БЛА позволяют им вести разведку на тактическую и оперативно-тактическую глубину построения боевых порядков. Количество объектов, местоположение и состояние которых может быть определено противником с использованием БЛА зависит от ряда параметров. Эти параметры можно разделить на тактические и технические. К тактическим параметрам относятся:

- вид боевых действий;
- количество БЛА одновременно ведущих разведку в зоне боевых действий;
- способ поиска;
- плотность распределения объектов в зоне боевых действий;
- размер зоны боевых действий;
- степень замаскированности объектов;
- количество ложных объектов в зоне боевых действий.

К техническим параметрам можно отнести:

- размер области земной поверхности, в пределах которой БЛА выполняет боевую задачу (размер исполнительной зоны);
- размер области просмотра ОЭС;
- вероятность обнаружения объекта;
- технические характеристики планера БЛА.

Количество объектов, обнаруженных БЛА за один вылет, может быть определено по формуле:

$$N_{об} = P_{обн} \cdot \rho_{об} \cdot S_{\Sigma}, \quad (1)$$

где: $N_{об}$ – количество обнаруженных объектов;
 $P_{обн}$ – вероятность обнаружения объекта;
 $\rho_{об}$ – плотность распределения объектов в зоне боевых действий;
 S_{Σ} – размер исполнительной зоны.

Поскольку микро- и мини-БЛА ведут разведку на тактическую и оперативно-тактическую глубину построения боевых порядков, то в данном случае под обнаруженным объектом следует понимать образец ВВТ.

Вероятность обнаружения объекта $P_{обн}$ будет зависеть от вероятности мгновенного выделения незамаскированного объекта P_{ϵ} на фоне подстилающей поверхности, которая в свою очередь зависит от объема информации об искомом объекте. Если объем информации отображаемый на экране пункта управления БЛА достаточен для утверждения, что это именно тот объект, то $P_{\epsilon}=1$. Поэтому вероятность обнаружения объекта оптической системой БЛА может быть определена по формуле:

$$P_{обн} = P_{\epsilon} \cdot (1 - K_m) / (1 - \zeta \eta), \quad (2)$$

где: P_{ϵ} – вероятность мгновенного выделения незамаскированного объекта на фоне подстилающей поверхности;
 K_m – коэффициент замаскированности объекта;
 ζ – степень правдоподобия ложных позиций;
 η – количество ложных позиций, приходящихся на одну действительную позицию.

В зависимости от обстановки облет исполнительной зоны может осуществляться несколькими разнотипными БЛА, поэтому в соответствии с [4] формула вероятности обнаружения приобретает вид:

$$P_{Noбн} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i), \quad (3)$$

где: N – количество БЛА осуществляющих облет исполнительной зоны;
 P_i – вероятность обнаружения объекта в исполнительной зоне i -м БЛА.

В случае применения в одной исполнительной зоне нескольких однотипных БЛА, вероятность обнаружения будет определяться как:

$$P_{Noбн} = 1 - (1 - P_1)^N, \quad (4)$$

где: P_1 – вероятность обнаружения объекта в исполнительной зоне одним БЛА.

Плотность распределения объектов в зоне боевых действий может быть определена как отношение общего числа потенциальных объектов в общевойсковом формировании к размерам зоны их расположения, по сути, к размерам зоны боевых действий:

$$\rho_{об} = n / S_{бд}, \quad (5)$$

где: $\rho_{об}$ – плотность распределения объектов в зоне боевых действий;
 n – число потенциальных объектов в общевойсковом формировании;
 $S_{бд}$ – размер зоны боевых действий.

Размер исполнительной зоны, в пределах которой БЛА осуществляет разведывательный полет, зависит от технических особенностей оптической системы установленной на БЛА и параметров его полета. К таким особенностям относятся углы поля зрения оптической системы, высота полета, время нахождения летательного аппарата в полете, его скорость и удаление точки запуска БЛА от исполнительной зоны (переднего края). Размер исполнительной зоны S_{Σ} можно рассчитать по выражению:

$$S_{\Sigma} = D_{\text{прол}} \cdot L_{\text{ви}}, \quad (6)$$

где: $D_{\text{прол}}$ – расстояние от ближней до дальней границы исполнительной зоны;
 $L_{\text{ви}}$ – ширина области просмотра оптической системы.

$$D_{\text{прол}} = t_{\text{уз}} \cdot V_{\text{бла}}, \quad (7)$$

где: $t_{\text{уз}}$ – время нахождения БЛА в исполнительной зоне;
 $V_{\text{бла}}$ – скорость полета БЛА.

$$t_{\text{уз}} = t_{\text{mmx}} - 2t_{\text{уд}}, \quad (8)$$

где: t_{mmx} – максимальное время нахождения БЛА в полете, определяемое его техническими характеристиками;
 $t_{\text{уд}}$ – время, затрачиваемое БЛА на полет от точки запуска до ближней границы исполнительной зоны.

$$t_{\text{уд}} = D_{\text{ну}} / V_{\text{бла}}, \quad (9)$$

где: $D_{\text{ну}}$ – удаление точки запуска БЛА от ближней границы исполнительной зоны.

При этом необходимо учесть, что дальность до дальней границы исполнительной зоны $D_{\text{из}}$ ограничивается максимальной дальностью, на которой обеспечивается управление аппаратом с наземного пункта управления $D_{\text{упр}}$, поэтому:

$$D_{\text{из}} \leq D_{\text{упр}}, \quad (10)$$

Проведя расчеты, получаем, что при отсутствии противодействия со стороны ПВО и мероприятий по снижению заметности прикрываемых объектов, один разведывательный полет группировки микро- и мини-БЛА противника, включающей в себя 10 аппаратов, повлечет за собой вскрытие до 300 объектов типа образца вооружения и военной техники (ВВТ). Потенциальными целями для разведки с помощью БЛА в общевойсковом формировании будут являться РЛС, ЗРК и другие бронеобъекты ВВТ. С точки зрения оценивания эффективности группировки ПВО по прикрытие общевойсковых формирований при проведении оперативно-тактических расчетов используется такое понятие как типовой объект. В качестве типового объекта рассматривается мотострелковая (танковая) рота. Как правило, в состав типового объекта (типа рота-батарея) входит около 10 основных образцов ВВТ. Если в общевойсковом формировании, насчитывается до 75 типовых объектов, получаем, что один разведывательный полет группировки микро- и мини-БЛА вскрывает до 30 типовых объектов, что в свою очередь составляет 40% от всех типовых объектов, расположенных в зоне ответственности общевойскового формирования.

Таким образом, предлагаемая методика оценки разведывательных возможностей БЛА позволяет корректно учесть их роль и место в системе информационного обеспечения воздушного противника, выявить характер и количественные показатели, влияющие на эффективность системы ПВО общевойскового формирования в условиях применения противником малоразмерных целей, а также обосновать приоритетность и важность совершенствования борьбы с такими целями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорин и др. Вооруженные силы США в XXI веке/Сидорин А.Н., Прищепов В.М., Акуленко В.П., Военная книга, 2013. 798 с.
2. «Применение цифровых оптических систем для беспилотных летательных аппаратов» https://www.uav.ru%2Farticles%2Forteq_uav.
3. Венцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для студентов вузов. М., Академия, 2003. 576 с.
4. FMJ 3-04.155 «Army unmanned aircraft system operations headquarters, department of the army». 2006 г.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ БЛА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВЗЛЁТОМ И ПОСАДКОЙ

Малые и средние БЛА представлены в основном самолётами с размахом крыла до 5-6 метров и коптерами взлётной массой до 8-10 кг. Выполняют они в основном функции наблюдения, разведки и различного мониторинга. Главными проблемами, согласно наблюдениям компании Рикор Электроникс, являются недостаточные время полёта и радиус применения для коптеров, а также, в ряде случаев, неудобство в осуществлении взлёта и посадки БЛА самолётного типа. Таким образом, согласно собственным исследованиям через опрос основных эксплуатантов беспилотников, Рикор решил развивать своё направление малых и средних БЛА, которое бы закрывало те случаи, когда указанные выше проблемы являются серьёзной преградой для решения поставленных задач. Это направление беспилотных самолётов вертикального взлёта и посадки. Казалось бы ничего нового и проблемы данной темы не раз обсуждались, но у нас есть определённые наработки, которые вновь заставляют смотреть на это направление, как на реальную перспективу развития внутри отрасли.

За основу для разработки беспилотных самолётов вертикального взлёта и посадки было решено взять радиоуправляемые авиамодели семейства Ал-100. Данные аппараты являются действующими прототипами самолётов вертикального взлёта и посадки с различными компоновочными решениями от конвертоплана до аэрогибридных схем. Все они успешно летают и обладают известными характеристиками. По данным испытаний стало очевидно, что они могут выполнять функции БЛА причём в довольно широком диапазоне погодных условий, что на первый взгляд может показаться не возможным. В настоящее время компанией создан образец самолёта из композитных материалов БС-103 Рикор. БЛА БС-103 Рикор спроектирован на основе аэрогибридной компоновки модели АЛ-103. Также при этом компания занимается разработкой универсального автопилота, который сможет обеспечить автоматический полёт летательных аппаратов данного перспективного направления.



Рисунок 1 – Беспилотные самолёты вертикального взлёта и посадки в ряде случаев могут заменить коптеры, а также самолёты с катапультно-парашютной взлётно-посадочной системой

Проекты ОАО "Рикор Электроникс":

Ал-107-СН (специального назначения) "Ларус". Разборный БЛА вертикального взлёта аэрогибридной схемы с размахом крыла 1,8 - 2 метра и с полётным весом до 4,0 кг. Радиус применения до 30 км с полезной нагрузкой 500-700 грамм. Транспортируется в ранце на спине. "Экипаж" 1 человек, время развёртывания порядка 10 минут. Общий вес комплекса не превышает 10 кг;



Рисунок 2

Ал-109-500 "Неоларус". БЛА вертикального взлёта аэрогибридной схемы с размахом крыла 4,5 - 5 метров и с полётным весом до 50 кг. Радиус применения 150 - 500 км в зависимости от комплектации. Полезная нагрузка 3-8 кг. Аппараты данного типа могут использоваться для корабельного базирования и применения на плавучих нефтяных платформах. Они могут нести полезную нагрузку до 8 кг. При этом возможны варианты, когда до 3 кг полезной нагрузки расходуется на подвешенное оборудование, а 5 кг используется для перевозки грузов, которые могут сбрасываться в заданной точке с применением зависания БЛА над объектом.



Рисунок 3

ОАО Рикор Электроникс является опытным разработчиком электроники и обладает широкими возможностями современного промышленного производства, что является очевидным плюсом и гарантом успеха реализации даже самых амбициозных проектов.

И.Е. МАКСИМОВ, кандидат технических наук,
научный сотрудник ЦНИИ ВВС МО РФ (г. Санкт-Петербург)

В.И. КУРОВ кандидат технических наук, ведущий
научный сотрудник ЦНИИ ВВС МО РФ (г. Санкт-Петербург)

А.С. МОЗЕНКОВ начальник отдела НИЦ ЦНИИ
ВВС МО РФ (г. Санкт-Петербург)

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С КОРАБЕЛЬНЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Анализ основных черт и особенностей будущих войн показывает, что их главным содержанием будет не прямое противоборство флотов, а массированное воздействие оружием по ключевым объектам инфраструктуры и экономики государства противника. При этом успешность военных действий может быть достигнута, в первую очередь, за счет военно-технологического превосходства над противником и способности завоевания господства в управлении силами. В свою очередь, военно-технологическое превосходство достигается внедрением в военную область новейших достижений науки, техники и информационных технологий.

Одной из определяющих тенденций в развитии военно-морской техники и вооружения в ведущих в военно-морском отношении странах, получивших значительное ускорение в начале XXI века, является развитие робототехники, в частности беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

В Военно-Морском Флоте основными потребителями комплексов с беспилотными летательными аппаратами (в состав вооружения которых необходимо включение БЛА) являются: надводные корабли (нк) и суда (в перспективе – подводные лодки), соединения, части и подразделения Морской авиации (МА) флотов, береговые ракетно-артиллерийские войска, части морской пехоты, а также части особого и специального назначения, входящие в состав разведок флотов.

В настоящее время можно выделить две группы задач, решение которых возможно возложить на беспилотные комплексы.

В настоящее время рассматривается две группы задач, решение которых возможно возложить на беспилотные комплексы.

Первая группа – это задачи, выполняемые в настоящее время пилотируемыми ЛА Морской авиацией: разведывательные, ударные, противолодочные, транспортные и специальные.

Вторая группа задач – это задачи обусловленные технической спецификой беспилотной техники, главной из которых является отсутствие на борту человека: создание ложных целей и отведение на себя средств поражения, работа в районах с насыщенной противовоздушной обороной (ПВО) и в районах радиоактивного заражения, применение с борта подводной лодки.

В ближайшей перспективе развитие беспилотной техники МА ВМФ должно быть направлено для решения первой группы задач, из этой группы наиболее важными являются задачи воздушной разведки (ВзР).

При этом беспилотная техника МА ВМФ рассматривается не только и не столько как замена пилотируемых аппаратов, а как их органичное дополнение в перспективной системе вооруженного противоборства на море.

В настоящее время перспективными для базирования на кораблях и судах ВМФ можно выделить следующие типы БЛА:

- корабельные разведывательные, разведывательно-ударные и ударные БЛА самолетного типа большой дальности и большой продолжительности полета, базирующиеся на больших авианесущих кораблях с групповым базированием летательных аппаратов и авиационных базах МА ВМФ;

- корабельные БЛА вертолетного и самолетного типов, базирующиеся на всех типах кораблей имеющих взлетно-посадочную площадку (ВПШ), то есть - одиночного базирования ЛА.

Для решения задач борьбы с НК и корабельными группами (КГ) противника в прибрежных районах будут широко применяться многоцелевые корабли малого (ракетные катера) и среднего (корветы, фрегаты) водоизмещения. В соответствии с концепцией развития ВМФ России, предполагается, что постройка кораблей указанных классов станет одним из приоритетных направлений совершенствования надводных вооружений ВМФ. Перспективные фрегаты, корветы и ракетные катера будут оснащаться противокорабельными ракетами (ПКР) тактического и оперативно-тактического назначений, в том числе высокоточными, для применения которых требуется использование авиационных средств выдачи данных для целеуказания (ЦУ) и контроля результатов ударов.

Одной из составляющих системы военно-морской разведки ВМФ могут стать комплексы воздушной разведки с БЛА, входящими в состав авиационного вооружения кораблей. Стоит отметить, что в настоящее время в МА ВМФ корабельные БЛА отсутствуют.

Корабельные пилотируемые летательные аппараты при решении задач ВзР с выдачей данных для ЦУ будут действовать в условиях эшелонированной системы ПВО надводных КГ противника, включающей зоны действия истребителей под управлением самолетов дальнего радиолокационного обнаружения и корабельных зенитно-ракетных комплексов большой дальности.

Таким образом, в настоящее время и на ближайшую перспективу главной целью развития и использования комплексов с БЛА корабельного базирования в интересах ВМФ является повышение эффективности применения управляемого ракетного оружия за счет расширения возможностей авиационной составляющей системы ЦУ.

При решении задач ВзР в условиях корабельного базирования необходимо отметить следующие особенности организации боевого применения и управления БЛА:

решение задач ВЗР будет выполняться с подвижного носителя, что обуславливает ряд требований к техническим параметрам системы управления в части автоматизации решения навигационных задач и задач, непосредственно связанных с боевым применением БЛА;

решение задач разведки может выполняться как в неподвижных (стационарных) районах (на рубежах), так и в подвижных зонах (позициях, на рубежах), границы которых относительно НК или центра ордера КГ определяются дальностью и пеленгом или курсовым углом относительно генерального курса движения НК (КГ);

управление БЛА при построении маневра для захода на посадку и выполнении взлетно-посадочных операций в зоне корабля будет выполняться со стартового командного пункта руководителем полетов;

планирование боевого применения БЛА и непосредственное управление им в зоне боевых действий будет выполняться с командного пункта корабля офицером боевого управления;

разведывательная информация, передаваемая с борта БЛА, будет использоваться для совокупной обработки совместно с информацией от других источников информации (радиолокационной системы обнаружения воздушных целей, радиопеленгаторов, станций радиотехнической разведки, оптико-электронных визиров и др.) корабля.

Создание комплексов с БЛА корабельного базирования сопряжено с необходимостью решения ряда сложных технических проблем, которые не возникают при разработке БЛА наземного базирования или решаются более просто.

Проблемы размещения и обеспечения функционирования комплекса с БЛА на корабле, особенно ограниченного водоизмещения, связаны со следующими техническими задачами:

размещением автоматизированных рабочих мест операторов и другой электронной аппаратуры на борту корабля;

размещением и обеспечением надежного функционирования антенных устройств приемо-передающего терминала при воздействии динамических нагрузок в условиях качки;

размещением и обеспечением надежного функционирования стартового (взлетно-посадочного) оборудования, а также средств предстартовой подготовки БЛА;

обеспечением безопасности полетов в районе корабля базирования, особенно при выполнении взлетно-посадочных операций;

обеспечением взрыво-пожаробезопасности на ВПП и в ангаре корабля;

обеспечением спасения и послеполетного обслуживания БЛА.

Следует отметить еще одну техническую проблему, которая может оказаться весьма сложной при внедрении БЛА на корабле. Она заключается в обеспечении электромагнитной совместимости каналов обмена информацией «БЛА-НК», бортовых радиоэлектронных средств БЛА и многочисленных корабельных радиолокационных, связных и других источников электромагнитного излучения.

Также одной из проблем является обеспечение устойчивой связи и передачи данных в условиях помех по линии «БЛА-нк» на больших дальностях.

Определенной конструктивно-технологической проработки потребует реализация, так называемого, «морского» исполнения материальной части комплекса с БЛА, в том числе и самого летательного аппарата. Это касается, в первую очередь, обеспечения брызго- и влагозащищенности, возможности длительного функционирования в условиях воздействия агрессивной морской среды, повышенной влажности за счет использования конструктивных решений и соответствующих покрытий, замены части материалов на более стойкие к коррозии и принятие других мер.

Более существенные проблемы связаны с выбором технического облика и способов применения БЛА и средств их обслуживания.

Определяющим фактором является кратность применения БЛА, которая в свою очередь, обусловлена крайней сложностью обеспечения безопасной посадки БЛА на корабль, то есть на площадку ограниченных размеров в условиях движения и качки корабля. При этом необходимо обеспечить безопасность не только самого БЛА, а также корабля и его экипажа, поскольку современные нк не имеют бронирования.

Для решения задач ВЗР с выдачей данных для ЦУ в состав целевого оборудования корабельного БЛА должны входить радиолокационная система и система радиотехнической разведки, оптико-электронные средства.

Встречающиеся мнения, что на корабль можно «посадить» береговой аналог, не соответствуют действительности и в какой-то мере являются «дилетантскими».

Без сомнения, снижение стоимости и сроков создания комплексов с корабельными БЛА должно обеспечиваться за счет унификации и использования научно-технического задела по созданию аналогичных комплексов для ВВС и СВ.

Помимо применения с корабля базирования комплексы с корабельными БЛА должны обеспечивать его применение по предназначению и с сухопутных аэродромов (площадок). Из чего следует, что помимо обеспечения базирования и управления БЛА на корабле аналогичные системы должны быть дублированы на подвижном береговом шасси или стационарно на аэродроме.

Базирование, подготовка к боевому применению, обслуживание и управление БЛА на корабле должно, по возможности, обеспечиваться той же номенклатурой авиационно-технических средств корабля (АТСК), что и для пилотируемых корабельных летательных аппаратов МА ВМФ.

Анализ состава и характеристик АТСК отечественных авианесущих кораблей показывает, что средства заправки и снаряжения, средства технического обслуживания и ремонта, средства специального назначения могут быть использованы и для обеспечения полетов БЛА, так как по применяемым рабочим параметрам и технологии подготовки БЛА близки к пилотируемым корабельным ЛА.

Для компактности размещения БЛА на кораблях и судах конструкция их должна быть складывающаяся (разборная): складывающийся или быстроразъем-

ный несущий винт, складывающаяся хвостовая балка (для БЛА вертолетного типа с рулевым винтом), складываемые (разборные) консоли крыла и т.д.

На корабельных БЛА должно быть предусмотрено наличие узлов швартовки, обеспечивающих их надежное крепление на местах хранения и обслуживания в любых условиях плавания. Кроме того, должны быть предусмотрены узлы сочленения БЛА с унифицированными узлами системы транспортировки летательных аппаратов по палубе корабля.

Заправка топливом на корабле должна производиться преимущественно закрытым способом.

Бортовое оборудование и системы БЛА должны иметь устройства, обеспечивающие стыковку их с корабельными авиационно-техническими средствами, предназначенными для межполетного технического обслуживания корабельных ЛА.

Таким образом, в завершении доклада можно сделать следующие основные выводы:

БЛА является вооружением надводного корабля и функционирует как система более низкого уровня по отношению к кораблю, вклад БЛА в решение задач, в первую очередь, отражается на эффективности решения задач кораблем;

на ближайшую перспективу должны получить развитие комплексы с корабельными БЛА для решения задач воздушной разведки с выдачей данных для целеуказания управляемому ракетному оружию ВМФ;

специфика боевого применения и эксплуатации корабельных БЛА накладывает на них более жесткие ограничения, чем на БЛА наземного базирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дайджест по материалам Военно-Морского Флота. – С-Пб.: изд. «Штандарт», 2012.
2. Бежко А. Беспилотники. - Авиация и космонавтика, № 11, 2015.
3. Соковиков Ю.Г. Применение вертолетов с авианесущих кораблей. – М.: Воениздат, 1989.

Н.Ю. КОЖАНОВ, заместитель начальника отдела
СПб Ф АО «Концерн Вега»
А.П. ТАНЧЕНКО, к. ф-м. н. научный сотрудник
СПб Ф АО «Концерн Вега»
Ю.В. МОСКАЛЕНКО, программист СПб Ф АО
«Концерн Вега»
Р.Ю. МАРТИМОВ, начальник отдела СПб Ф АО
«Концерн Вега»
А.В. ПЕТРОЧЕНКО, ведущий программист СПб
Ф АО «Концерн Вега»

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ ВИДОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЛА

В связи с развитием технологий построения вычислительных комплексов, все большую популярность приобретают задачи, требующие для своего решения мощные вычислительные ресурсы. Одним из интенсивно развивающихся на данный момент направлений является оперативная обработка видовой информации, позволяющая значительно снизить ресурсы, затрачиваемые на постановку задачи для операторов БЛА, а также решение задач поиска и распознавания объектов для оператора-дешифровщика. К группе рассматриваемых оперативных задач следует отнести следующие задачи:

- стабилизация видеопотока;
- интеллектуальный выбор стоп-кадров с минимальным «смазом»;
- сопровождение движущегося объекта с определением скорости и направления;
- селекция движения по видеопотоку;
- формирование составного изображения, по маршруту полета, как правило из небольшого числа изображений;
- обнаружение и распознавание объектов по видеопотоку и статическим изображениям;
- планирование маршрутов полетов БЛА.

Рассмотрим более подробно задачу селекции движения по видеопотоку. Для обеспечения достаточного качества работы, которое выраженного с одной стороны в низком числе ложных обнаружений, а с другой в минимальном объеме пропусков движения при условии работы в реальном масштабе времени, требуются значительные вычислительные затраты, для тщательного анализа видеопотока на предмет изменений между кадрами.

Обнаружение движущихся объектов в видеопотоке в реальном масштабе времени без сомнения является важной задачей компьютерного зрения [6,7,8]. Это один из основных шагов во многих системах обработки данных визуального контроля. Основная идея предлагаемого алгоритма состоит в том, чтобы применить подход, используемый при обнаружении движущихся объектов с помощью ста-

онарных камер, к видеопотоку, который получается после компенсации движения камеры, установленной на БЛА. Этот метод позволяет, с одной стороны, достаточно эффективно обнаруживать движущиеся объекты в случае движущихся камер, а с другой стороны, не приводит к слишком большой вычислительной сложности алгоритма, что позволяет применять его в реальном масштабе времени. В общем виде алгоритм включает следующие этапы.

выполняется шумоподавление фильтром низких частот с использованием фильтра Гаусса;

реализуется компенсация смещения камеры между двумя соседними кадрами, на основе алгоритма Лукаса-Канаде [6], для чего строится регулярная сетка, с заданным шагом, затем для каждого узла сетки, вычисляется вектор движения относительно предыдущего кадра. В итоге для нового кадра формируется скорректированная сетка;

по узлам регулярной сетки на текущем кадре и сетки, скорректированной с учетом движения камеры и объектов на предыдущем кадре, оценивается аффинное преобразование камеры между текущим и предыдущим кадром. Оценка аффинного преобразования строится с помощью хорошо известного алгоритма RANSAC (Random Sample Consensus). После того, как аффинное преобразование найдено, из текущего кадра вычитается образ предыдущего кадра после данного преобразования. Такая процедура компенсирует движение камеры, и кадр разницы содержит больше информации о движущихся объектах, чем о движении камеры;

для обнаружения движения объекта на текущем кадре анализируется полученная разница между кадрами с использованием смеси распределений Гаусса и гистограммы [10,11]. Целью данного этапа, является отнесение анализируемого текущего пикселя, либо к фону, либо к движущемуся объекту;

морфологические преобразования над полученными областями: удаляется шум, и выделяются связанные области. Затем вычисляются размеры и центры полученных связанных областей. Предлагается центры сглаживать фильтром Кальмана и затем строить описывающие прямоугольники вокруг данных центров;

после того, как движущиеся объекты будут обнаружены, а видеопоток привязан к геопространственной основе, данные по движению объектов накладываются на карту.

Помимо задач оперативной обработки, существуют класс задач постобработки. К данному классу относятся следующие задачи:

формирование составного изображения по площади;

обнаружение и распознавание по статическим изображениям;

уточнение координат кадров;

поиск изменений на изображениях одного района местности, снятые в разное время.

Рассмотрим более подробно задачу сшивки, как по маршруту полета, так площадной панорамы. В работах [1,2,3] показано, что наиболее перспективным подходом к формированию ортофотоплана по набору изображений является при-

менение методов восстановления трехмерной модели рельефа с последующим перепроецированием точек на плоскость. Предлагается алгоритм решения данной задачи, включающий следующие этапы:

поиск ключевых точек на наборе изображений. В качестве алгоритма предлагается использовать SIFT (scale-invariant features transform). Наилучший результат по производительности обеспечивает применение поиска ключевых точек на изображении с использованием графической карты. Исследования показали, что ускорение в сравнении со стандартными реализациями для центрального процессора достигло порядка 40 раз;

после того, как ключевые точки найдены, начинается этап сопоставления, и построения графа соответствий, а также применение геометрической фильтрации сопоставленных точек;

для тех пар точек, которые соответствуют условиям фильтрации, производится расчет параметров внешнего ориентирования соответствующих камер (поворот и смещение) в трехмерном пространстве;

после поиска локальных парных параметров поворота и смещения, выполняется поиск общих глобальных параметров всей композиции. И уже относительно них рассчитываются новые параметры поворота и смещения для каждого изображения (камеры);

на основе метода триангуляции для сопоставленных ключевых точек, выполняется построение первого приближения трехмерной модели рельефа;

далее выполняется минимизация ошибок, выявленных при триангуляции, для корректировки параметров не только внешнего, но и внутреннего ориентирования камер (таких как фокусное расстояние, главная точка изображения и т.д.);

после того, как параметры камер выравнены, выполняется проецирование полученной трехмерной модели на плоскость, с изменением внешних параметров камер. Производится сопоставление рассчитанной модели полета с навигационной моделью полета БЛА, тем самым формируется географическая привязка для получаемой на заключительном этапе композиции;

после того, как место каждого из изображений в глобальной системе координат композиции определено, выполняется формирование финальной композиции. Данный этап включает, такие общеизвестные задачи, как поиск шва, выравнивание яркости и контраста.

В таблице 1 представлены данные о достигнутой скорости формирования ортофотоплана для различных наборов.

Таблица 1 – Достигнутая скорость формирования ортофотоплана для различных наборов

Размер набора снимков	Размер выходной композиции в пикселях	Время формирования
119	29112 x 39141	17 мин
292	28660 x 64058	58 мин
712	51136 x 68144	181 мин

Основным преимуществом предложенного алгоритма, в сравнении с работами [1,2,3] является использование для восстановления двух изображений, а не трех, что в условиях использования БЛА самолетного типа, является трудно реализуемой задачей.

Другим важным направлением обработки данных целевой нагрузки БЛА анализ изображений, формируемых перспективными радиолокаторами с синтезированной апертурой. Преимуществами радиолокационных систем является их всепогодность, независимость от времени суток, большая дальность обнаружения объектов и высокое пространственное разрешение (0,5 м и лучше).

Для автоматизации дешифрирования данной группы изображений существует ряд методов [3], основанных на машинном обучении. Основным их недостатком является то, что для их работы требуется объемная база реальных радиолокационных портретов (РЛП) объектов. Для решения данной проблемы, был разработан метод обнаружения и распознавания объектов, в качестве обучающей выборки и использующий РЛП, полученные путем моделирования. Работы системы, реализующей данный метод, состоит из двух фаз:

фаза подготовки системы к работе и обучения. На данной фазе производится моделирование базы РЛП для обучения, расчет информативных признаков и непосредственно обучение систем обнаружения и классификации объектов. Как показали эксперименты, достаточным количеством является около 5000 РЛП на каждый класс. Также для обучения системы обнаружения необходимы радиолокационные изображения (РЛИ) типовой фоновой местности, на которой в дальнейшем могут находиться интересные объекты;

фаза применения системы обнаружения и распознавания. Обученный обнаружитель и система распознавания используются для автоматического обнаружения и распознавания объектов на высокодетальных РЛИ.

Обнаружение объектов рационально выполнять, на основе последовательного применения ряда методов. Так, высокую результативность показала связка детектор Хаара [12] - скользящее окно с применением двухклассовой классификации на основе метода опорных векторов [15] (SVM – support vector machine) и информативных признаков, позволяющих отделять объекты от фона.

После того, как проведено обнаружение, то есть, выбраны области РЛИ, относящиеся к классу «объект», данные области поступают на вход системы распознавания. Данная система относит каждый объект непосредственно к одному из классов, на которых она была обучена.

Для экспериментальной отработки предложенного метода, были использованы данные из открытой базы данных радиолокационных изображений и портретов различных объектов, которая сформирована с применением радиолокатора, обладающим разрешением около 30 сантиметров, в рамках проекта MSTAR. В качестве классов выступали объекты типа танк Т-72, боевая машина пехоты БМП-2 и бронетранспортер БТР-60. Для тестирования системы обнаружения объекты встраива-

лись непосредственно в фоновые изображения с данного радиолокатора. Число реальных РЛП составляло порядка 5600. В качестве информативных признаков использовались коэффициенты спектра Фурье, коэффициенты полиномов Цернике [14], а также ряд других информативных признаков. При распознавании в качестве классификатора использовался также метод опорных векторов. В ходе отработки было установлено, что данный классификатор обеспечивает наиболее высокие вероятности правильной классификации при обучении на модельных данных и тестировании на реальных изображениях с исследуемым набором признаков. Применение разработанного метода позволило достичь показателей, представленных в таблице 2.

Таблица 2 - Достигнутые результаты обнаружения и распознавания объектов на РЛИ высокого разрешения

Параметр	Значение
Вероятность обнаружения объектов	0,97
Вероятность ложного обнаружения	$2 \cdot 10^{-7}$
Вероятность правильной классификации при обучении на модельных РЛП (3 класса техники)	0,85
Вероятность правильной классификации при обучении на реальных снимках из базы данных MSTAR (8 классов техники)	0,985
Среднее время обработки одного РЛИ 1500×1700 пикселей на процессоре Intel i7	8 с

Таким образом, в отличие от аналогов, разработанный метод позволяют обучать систему обнаружения и распознавания, по выборке модельных РЛП. Добавление реальных РЛП в обучающую выборку, как было установлено, значительно повышает вероятность правильной классификации, но число требуемых РЛП на каждый класс должно быть не менее 30 на класс.

Отметим, что для решения задачи обнаружения и распознавания объектов на оптико-электронных изображениях (ОЭИ) и в видеопотоке с борта БЛА, одним из перспективных направлений также является применение модельно-ориентированного подхода, поскольку формирование представительной обучающей выборки изображений объектов, является достаточно трудоемкой задачей и практически не реализуемой в короткий промежуток времени.

Основной мировой тренд в области обнаружения и распознавания заключается в применении сверточных нейронных сетей. Главным преимуществом данного подхода в сравнении с признаковым описанием, является то, что алгоритм по сути сам находит информативные признаки. Основная задача разработчика заключается в выборе топологии сети и настройке большого числа ее параметров. Сверточные нейронные сети могут быть применены не только для распознавания объектов, но и для их обнаружения. Стоит отметить, что для данного типа классификаторов и обнаружителей, необходимым условием является наличие представительной базы

изображений для обучения. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы помимо моделирования, является многократное клонирование с деформациями имеющихся изображений объектов. В ходе проведенных исследований установлено, что обучающая выборка должна содержать порядка 55 разноразмерных изображений на каждый класс для того, чтобы на пяти классах достичь вероятности правильной классификации около 78%. При этом требуется, чтобы обучающая выборка была представительной как с точки зрения мест съемки, так и с точки зрения освещения, что является достаточно трудно осуществимой задачей. Размер изображений объектов должен составлять не менее 100×100 пикселей.

Проведенные исследования показали, что применение сверточных нейронных сетей для распознавания с применением модельных оптических изображений на данный момент не достигло успеха. Основная причина заключается в недостаточной исследованности области компьютерного моделирования применительно к задаче формирования обучающей выборки. Однако при решении задачи обнаружения некоторых объектов военной техники удалось достичь вероятности обнаружения порядка 80% при вероятности ложной тревоги около $1,1 \cdot 10^{-6}$. При этом применялась не сверточная нейронная сеть, а совместное применение технологии BOW (bag of words), SVM и SIFT.

Таким образом, в докладе предложен новый алгоритм построения трехмерной модели рельефа и ортофотоплана, адаптированный для маршрутной и площадной съемки с борта БЛА. Также рассмотрен перспективный подход к обнаружению движущихся объектов в видеопотоке. Представлены апробированные методы обнаружения и распознавания объектов на РЛИ высокого разрешения, с обучением на основе модельных РЛП. Определены перспективы применения модельно-ориентированного подхода для обнаружения и распознавания объектов на ОЭИ изображениях и видео.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multiple view geometry in computer vision. Hartley, Richard, and Andrew Zisserman. Vol. 2. Cambridge, 2000.
2. Efficient and Robust Large-Scale Rotation Averaging. Avishek Chatterjee and Venu Madhav Govindu, ICCV 2013.
3. Robust Global Translations with 1DSfM. Kyle Wilson and Noah Snavely, ECCV 2014.
4. Adaptive structure from motion with a contrario model estimation. Pierre Moulon, Pascal Monasse, and Renaud Marlet. In ACCV, 2012.
5. Global Fusion of Relative Motions for Robust, Accurate and Scalable Structure from Motion. Pierre Moulon, Pascal Monasse and Renaud Marlet. In ICCV, 2013.
6. C. Stauffer and W. Grimson. Adaptive background mixture models for real-time tracking. - In Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference on., volume 2, pages 2 vol. (xxiii+637+663), 1999.

7. Y. Sheikh and M. Shah. Bayesian modeling of dynamic scenes for object detection. - PAMI, 27:1778–1792, 2005.
8. Y. Sheikh, O. Javed, and T. Kanade. Background subtraction for freely moving cameras. - In ICCV, pages 1219–1225. IEEE, 2009.
9. S. Kwak, T. Lim, W. Nam, B. Han, and J. H. Han. Generalized background subtraction based on hybrid inference by belief propagation and bayesian filtering. - In Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on, pages 2174–2181, nov. 2011.
10. Chris Stauffer, W.E.L. Grimson Adaptive background mixture models for real-time tracking // In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1998. V. 2.
11. A. P. Dempster, N. M. Laird, D. B. Rubin Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm // Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 39, No. 1. (1977), pp. 1-38.
12. Paul Viola, Michael Jones. International Journal of Computer Vision. Robust Real-time Object Detection, 2001.
13. Yoav Freund, Robert E. Schapire, A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting Journal of Computer and System Sciences, no. 55, 1997.
14. Zernike, F., "Beugungstheorie des Schneidenverfahrens und Seiner Verbesserten Form, der Phasenkontrastmethode". Physica 1 (8): 689–704, 1934.
15. Cortes, C.; Vapnik, V., Support-vector networks. Machine Learning 20 (3): 273, 1995.

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В настоящее время развитие беспилотных летательных аппаратов (БЛА) рассматривается Вооруженными Силами Российской Федерации (ВС РФ) как одно из перспективных средств повышения эффективности применения разнородных сил и средств в мирное время, период нарастания военной угрозы и военное время.

Современные БЛА являются роботизированными и компьютеризированными образцами вооружения для ведения неконтактных боевых действий.

В типовой состав систем связи и управления БЛА ближнего действия входят портативная переносная станция управления, автопилот с системой датчиков, бортовой и наземный терминалы передачи данных. Прием разведывательной информации с БЛА ее потребителями, также может осуществляться с помощью мобильных и портативных видеотерминалов.

Проведенный анализ применения БЛА ближнего действия позволил выделить следующие особенности функционирования:

- возможность совершать автоматический (автоматизированный) полет при выполнении задач, автономно по заложенной программе, в течении нескольких десятков минут или часов при управлении оператором только взлетом и посадкой;

- практическая незаметность для радиолокационных станций в связи с тем, что в основном использованы композиционные материалы, состоящие из наполнителя и армирующих элементов в виде волокон;

- наличие комплекса средств автоматизации для управления БЛА и его полезной нагрузкой по цифровым радиоканалам;

- наличие потенциальных уязвимых мест в протоколах передачи данных, специальном и общем программном обеспечении систем управления, передачи данных и навигации БЛА и полезной нагрузки;

- наличие возможности перехвата информации из цифровых радиоканалов прямой видимости;

- унифицированность программно-аппаратных средств БЛА и использование информационных технологий двойного назначения на основе применения открытых стандартов.

Указанные особенности функционирования БЛА ближнего действия обуславливают наличие потенциальных уязвимостей в контурах управления БЛА, представленных на рисунке 1.

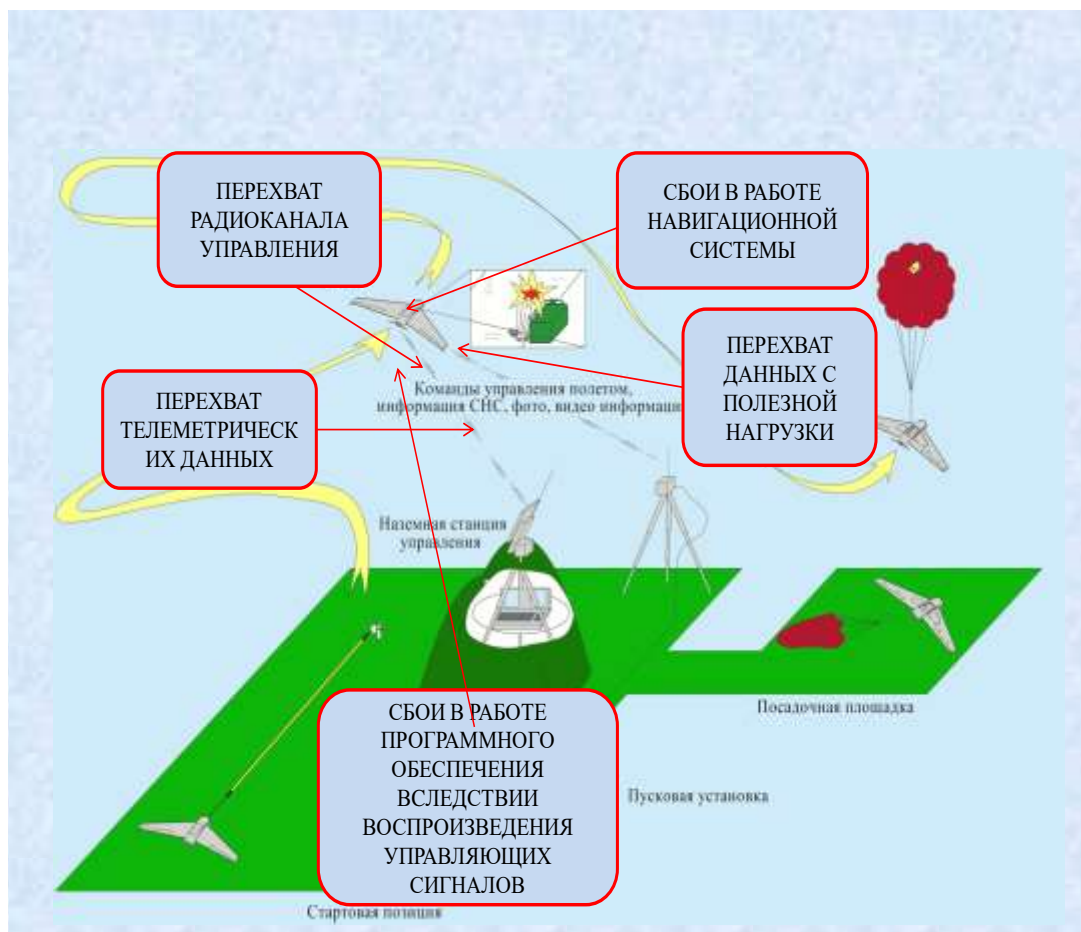


Рисунок 1 – Уязвимости в контурах управления БЛА ближнего действия

Под безопасностью информации понимается состояние защищенности информации, при котором обеспечены ее конфиденциальность, доступность и целостность [1].

Под уязвимостью (уязвимым местом) автоматизированных систем в широком смысле понимаются факторы, связанные с недостатками в физическом размещении, организации, процедурах, персонале, управлении, администрировании, аппаратных средствах, программном обеспечении или информации, которые могут использоваться источником угрозы [2].

Под уязвимостями БЛА понимаются точки (места) санкционированного и несанкционированного доступа в цифровых каналах передачи данных и аппаратно-программных средствах, через которые могут быть реализованы информационно-технические воздействия (ИТВ).

Исходя из возможных последствий, основные виды ущерба, наносимого в результате возможных ИТВ:

- утечка развединформации;
- потеря БЛА;

снижение вероятности выполнения задач БЛА в результате искаженной разведывательной информации;

срыв выполнения задач БЛА или увеличение времени на выполнение поставленной задачи БЛА в результате нарушения нормального функционирования системы управления и передачи информации БЛА.

Наличие уязвимых мест в контурах управления БЛА создает предпосылки для реализации на них угроз функционального поражения (интеллектуального вывода из строя). Необходимость парирования угроз функционального поражения БЛА, повышает актуальность решения задач защиты информации БЛА ближнего действия в условиях ИТВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50922-2006 Национальный стандарт Российской Федерации «Защита информации. Основные термины и определения», М: Стандартинформ, 2008.
2. Белый А.Ф., Климов С.М. Модель оценки реального уровня защищенности критически важных информационных сегментов космических систем на основе компьютерных стратегических игр. Ракетная и космическая техника. 2011. №1. Научные чтения ученых, научно-технических работников и специалистов РКП, посвящённые памяти Ю.А. Мозжорина. ФГУП «ЦНИИмаш», с. 156-160.

А.Н. МИРОНЕНКО кандидат технических наук,
заместитель начальника центра по научной работе
НИЦ ФГБУ «27 ЦНИИ» Минобороны России
С.О. ДУБЕНСКОВ начальник отдела НИЦ ФГБУ
«27 ЦНИИ» Минобороны России
В.А. РАДИОНОВ кандидат технических наук, веду-
щий научный сотрудник отдела НИЦ (топогеодезиче-
ского и навигационного обеспечения) ФГБУ «27
ЦНИИ» Минобороны России

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВОЙСК. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Одной из задач топогеодезического обеспечения войск в мирное время является заблаговременное создание и обновление топографических карт и планов городов для обеспечения войск при проведении войсковых учений и специальных операций, а также в случае нарастающей военной угрозы. В ходе ведения боевых действий добавляется задача создания специальных карт, фотодокументов и моделей местности, определение координат целей, привязка боевых порядков ракетных войск и артиллерии, и пр.

В качестве исходных данных для решения указанных задач необходимы геометрически точные съемочные материалы высокого пространственного разрешения, отражающие изменения местности, например на момент проведения войсковой операции. Такие материалы могут быть оперативно получены аэрофотосъемочными комплексами на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Предпосылками применения БЛА в качестве нового средства для аэрофото-съемки являются недостатки двух традиционных способов получения данных с помощью космических аппаратов и воздушных пилотируемых аппаратов.

Космические средства дистанционного зондирования Земли из-за длительности процесса получения и обработки исходных материалов не удовлетворяют требованиям оперативности. Использование авиационных аэросъемочных комплексов диктует необходимость использования оборудованных аэродромов со всей необходимой инфраструктурой, а также затрат времени на перебазирование самолета на аэродром и его подготовку к выполнению аэросъемочного задания. Кроме того, применение авиационных комплексов может быть нерентабельным в случае съемки небольших объектов и малых по площади территорий. В этом случае экономические и временные затраты на организацию работ, приходящиеся на единицу отснятой площади, существенно превосходят аналогичные показатели при съемке больших площадей (тем более для объектов, значительно удаленных от аэродрома).

Таким образом, преимуществами применения БЛА в качестве аэрофотосъемочного средства являются:

Рентабельность;

возможность съемки с небольших высот, и как следствие, получение снимков высокого пространственного разрешения;

оперативность подготовки и проведения аэрофотосъемки;

возможность применения по назначению без риска для жизни и здоровья пилотов.

Однако развитие рынка БЛА, в том числе и для нужд аэрофотосъемки, тормозится отсутствием нормативно-правовой базы для интеграции БЛА в единое воздушное пространство. Не дожидаясь создания нормативно-правовой базы, беспилотные системы закупают структуры, имеющие особые полномочия (Министерство обороны, ФСБ, МВД, МЧС).

Еще одним фактором, сдерживающим применение БЛА, является повышенная аварийность БЛА. В настоящее время БЛА не снабжены системой распознавания препятствий и ухода от столкновений, кроме того, многие модели оснащены не вполне совершенными автопилотами.

Технология аэрофотосъемки с БЛА в значительной степени отработана. В настоящее время большая часть эксплуатируемых БЛА, предназначенных для воздушной разведки и наблюдения, оснащена аппаратурой фото- и видеосъемки.

Назначение аэрофотосъемочного комплекса картографирования на базе БЛА накладывает определенные требования к составу его съемочной и специальной аппаратуры, а также к ее характеристикам. Данные требования обусловлены необходимостью получения геометрически и радиометрически точных первичных материалов съемки и сопровождающей их служебной информации, чтобы позднее, на этапе их технологической обработки, получить в результате картографическую продукцию с заданными характеристиками точности, полноты и достоверности.

Прежде всего, для аэрофотосъемки в целях картографирования БЛА должен иметь на своем борту полноценный автопилот, способный выдерживать параметры съемки (маршрут, углы наклона фотоаппарата, процент продольного и поперечного перекрытия, высоту и т.д.) даже при малой массе аппарата.

Для строгой фотограмметрической обработки данных аэросъемки и получения максимально точных результатов необходимо, чтобы снимки в одном маршруте имели тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съемке составляло не менее 20%. На практике, при съемке с БЛА эти параметры выдерживаются далеко не всегда. Полет БЛА неустойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие возмущающие факторы. Если съемку с обычных самолетов планируют с перекрытием вдоль маршрута 60%, а между маршрутами 20-30%, то проектировать съемку с БЛА следует с перекрытием вдоль маршрутов 80%, а между маршрутами – 40%, чтобы по возможности исключить разрывы в фототриангуляционном блоке.

В соответствии с предназначением, комплекс картографирования на базе БЛА должен решать задачи получения исходных съемочных материалов и сопутствующей им служебной информации для получения по ним картографической продукции в масштабах 1:2 000 и мельче.

Для решения этой задачи комплекс картографирования должен иметь в составе полезной нагрузки следующую аппаратуру:

- цифровую аэросъемочную камеру;
- аппаратуру стабилизации камеры;
- систему прямого геопозиционирования.

В качестве цифровой аэросъемочной камеры для комплекса картографирования на базе БЛА целесообразно выбрать кадровую камеру малого (с объемом кадра менее 20 Мр) или, что предпочтительнее, среднего (с объемом кадра от 20 до 64 Мр) формата.

Аэрокамеры малого формата, за редким исключением, представляют собой обычные, серийно выпускаемые промышленностью и относительно дешевые бытовые или профессиональные цифровые фотоаппараты, рассчитанные на широкий круг пользователей. Такие камеры практически не имеют приспособлений для крепления на гиростабилизирующей платформе, интерфейса для интеграции с навигационными комплексами, и не всегда обеспечивают получение метрически точного изображения. Поэтому их применение требует выполнения калибровки. Кроме этого, такие камеры имеют ограниченное применение для картографической аэросъемки из-за малого формата, увеличения числа покрываемых участков снимков и большого объема фотограмметрических работ.

Аэрокамеры среднего формата полностью адаптированы к особенностям аэрофотосъемочных работ, могут быть интегрированы в современные системы управления полетом, прямого геопозиционирования, оснащаются средствами компенсации сдвига изображения.

Цифровая аэрокамера для съемки с БЛА должна отвечать следующим требованиям:

- иметь диапазон фокусных расстояний или комплект сменных объективов для выполнения разнородных аэросъемочных задач с различных высот и скоростей;

- обеспечивать возможность съемки с заданным временным интервалом, обеспечивающим продольное перекрытие снимков 60-80%;

- обеспечивать получение исходных цветных изображений местности с размером кадра не менее 500x500 м;

- пространственное разрешение материалов съемки с высоты 1000 м должно быть не хуже 0,2 м при контрасте 0,5.

Гиростабилизирующая установка (гироплатформа) предназначена для поддержания заданного положения аэрокамеры, уменьшения влияния вибраций планера БЛА на качество аэроснимков, гашения ударов и толчков при взлете и посадке, и др.

Гироплатформа должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать динамическую стабилизацию установленного на ней аэросъемочного оборудования путем компенсации углов вращения планера БЛА (углов крена, тангажа и рыскания, или отклонения от курса);

- иметь соответствующую пластину адаптации (адаптер) для сопряжения с

конкретной моделью аэрокамеры;

обеспечивать диапазон углов стабилизации по крену и тангажу не менее 5-6°.

Современный уровень развития навигационных средств позволяет производить измерения элементов внешнего ориентирования непосредственно в процессе съемки.

Типичные точности таких измерений достигают единиц метров по пространственным координатам X , Y , Z и долей градуса по углам крена, тангажа и рыскания. Часто этого достаточно, чтобы производить обработку без использования опорных точек. В любом случае, наличие таких данных значительно упрощает обработку и позволяет выполнять некоторые этапы обработки полностью в автоматическом режиме.

Система прямого геопозиционирования, представляющая собой навигационные комплексы GPS/IMU, предназначена для определения пространственного положения носителя, скорости и направления его перемещения.

В состав системы прямого позиционирования комплекса картографирования на базе БЛА должны входить:

блок инерциальных измерений, включающий тройку гироскопов для определения углов отклонения осей чувствительности от первоначального положения;

блок спутниковых измерений GPS/ГЛОНАСС, включающий двухчастотный спутниковый приемник геодезического класса;

бортовой вычислитель, осуществляющий согласование инерциальных и спутниковых измерений в реальном времени.

Перед использованием системы прямого позиционирования необходима ее калибровка, заключающаяся в совместной обработке результатов фотограмметрических, инерциальных и спутниковых измерений по результатам обработки материалов, полученных при съемке специального полигона.

В режиме картографической съемки средние квадратические погрешности определения параметров линейного и углового положения БЛА будут зависеть от характеристик съемочной аппаратуры и высоты полета. При этом обязательно должно выполняться условие обеспечения точности определения плановых координат объектов местности не хуже 5 м без наземной подготовки.

Если при съемке использовался двухдиапазонный GPS/ГЛОНАСС приемник в дифференциальном режиме (или постобработка данных GPS/ГЛОНАСС), то для получения наиболее точных результатов обработки требуется минимальное число опорных точек (обычно достаточно нескольких точек на блок из 100 снимков), а в ряде случаев обработку можно проводить вообще без опорных точек.

В сентябре 2014 г. в рамках учений «Восток-2014» была проведена проверка функциональных возможностей аэрофотосъемочного комплекса с БЛА «Геоскан-101» разработки компании «ПЛАЗ» (г. Санкт-Петербург). «Геоскан-101» и «Геоскан-200» являются представителями класса специализированных картографических авиационных комплексов, реализованных на базе БЛА.

Результаты проверки показали, что в интересах Топографической службы ВС РФ такие комплексы можно использовать для решения следующих задач:

оперативное исправление топографических карт и создание фотодокументов местности на локальные районы (площадью до 10 км² за один полет) при заблаговременной подготовке театра военных действий в топогеодезическом отношении; создание трехмерных карт на территорию полигонов и учебных полей.

Создаваемые трехмерные модели могут успешно использоваться для информационного обеспечения планирования действий войсковых подразделений, организации их маскировки, а также применения ударных комплексов авиации и артиллерии.

Преимуществами использования комплексов «Геоскан-101» и «Геоскан-200» для решения указанных задач по сравнению с другими аэрофотосъемочными комплексами, являются:

компактное исполнение;
небольшой промежуток времени между проведением съемки и получением картографической продукции;
сравнительно низкая себестоимость производства и эксплуатации;
небольшое время разворачивания и подготовки к применению;
простота эксплуатации и обработки получаемой информации;
высокая степень автоматизации на всех стадиях подготовки, эксплуатации и обработки данных;
сравнительно невысокие требования к квалификации эксплуатирующего персонала.

К факторам, ограничивающим применение комплексов «Геоскан-101» и «Геоскан-200» в интересах Минобороны, относятся:

наличие в составе бортовой нагрузки БЛА навигационного приемника, работающего только с сигналами системы GPS;
недостаточная максимальная дальность устойчивой связи между наземной станцией управления и БЛА;
недостаточный температурный диапазон применения комплексов.

В состав комплекса картографирования на базе БЛА, помимо воздушного, должен входить наземный сегмент. Его наличие необходимо для выполнения фотограмметрической обработки материалов съемки с БЛА с использованием сопроводительных навигационных данных и опорной информации, с целью высокоточной координатной привязки объектов местности к заданной системе координат.

О.А. МИХАЛЁВ, кандидат технических наук,
начальник НИО-3 Военной академия связи им.
Маршала Советского Союза С.М. Будённого (г.
Санкт-Петербург)
А.Ф. ГАЛИМОВ, адъюнкт кафедры радиосвязи
Военной академия связи им. Маршала Советского
Союза С.М. Будённого (г. Санкт-Петербург)

АНАЛИЗ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕТРАНСЛЯТОРА РАДИОСИГНАЛА В ИНТЕРЕСАХ СИСТЕМЫ СВЯЗИ МО РФ.

Современные условия ведения боевых действий ужесточили требования к полноте информационного обеспечения процессов управления боевыми действиями и как следствие расширяются требования к авиационным системам как поставщикам информации о противнике в информационные сети систем управления войсками [1], [2]. При этом исследуются вопросы применения авиационных систем в роли активного элемента, обеспечивающего устойчивое, непрерывное, оперативное и скрытное функционирование системы управления войсками в условиях целенаправленного противодействия.

Вышесказанное приводит к усиливающемуся вниманию к созданию беспилотных авиационных систем (БАС) на основе совокупности беспилотных летательных аппаратов (БЛА), привязных аэростатных комплексов (ПАК), дрейфующих аэростатов (ДА), стратосферных дирижаблей (СД) включающих в себя наземную систему управления (НСУ), технические средства обеспечения (ТСО). Оборудование взлёта и посадки, транспортных средств оборудования БАС.

На сегодняшний день практически все созданные отечественные БЛА позиционируются как носители оптико-электронной аппаратуры. За редким исключением БЛА выступают в роли универсальных платформ, РЭБ. Министерством обороны ведутся разработки ударных машин.

Западные разработчики БЛА, в том числе США, основные усилия также сосредоточили на разработке разведывательных и разведывательно-ударных БЛА. В марте 2014 года американское агентство DARPA [3] представило информацию о проведении работ по созданию аппаратуры связи, которая в состоянии обеспечить достаточно большой регион эффективным Интернет-покрытием с пропускной способностью канала не менее 1 Гбит/сек. Американские военные создали специальное приемо-передающее оборудование, которое может работать в миллиметровом радиочастотном спектре. Данная аппаратура разрабатывается специально для устаревших БЛА RQ-7 Shadow, которые в целях разведки уже не используются, но произведено их большое количество. Также разрабатываются ретрансляторы радиосигнала на базе радиостанций тактического звена AN\PRC-154.

В Российской Федерации разработкой БЛА как платформы для аппаратуры радиосвязи занимается ОАО «Компания «Сухой» (в рамках НИОКР «ЗОНД» разрабатывается БЛА «ЗОНД-1»). В «ОКБ им. Н.И. Камова» реализован опытный ретранслятор на базе БАС с вертолётным многофункциональным БЛА КА-137. ООО «Специальный Технологический Центр» разработал БЛА Орлан-10, СТЦ «ЮРИОН» разрабатывает возможность использования радиостанции в качестве ретрансляторов радиосигнала на гражданских БЛА типа квадрокоптер.

БЛА с аппаратурой связи на борту способны повысить дальность связи в УКВ диапазоне минимум в два раза, и они значительно дешевле по сравнению с ретрансляторами связи, размещёнными на космических и воздушных носителях. Поэтому БЛА с аппаратурой радиосвязи на борту является приемлемой альтернативой. С помощью БЛА можно в сжатые сроки развернуть сеть доступа, которая позволит предоставить услуги современной системы интегрированной цифровой связи на необорудованной территории в интересах силовых ведомств.

На сегодняшний день не так много отечественных ПЛА способны стать воздушной платформой для аппаратуры радиосвязи. Для обеспечения данной задачи нужен БЛА с достаточной грузоподъемностью, который должен иметь продолжительное время полета. Также он должен иметь приемлемую дальность полёта, чтобы в случае необходимости обеспечить облёт всей зоны ответственности подразделений МО, а способ взлёта и посадки должен обеспечить его применение с необорудованных площадок. То есть все не имеющие возможности нести дополнительную транспортную нагрузку БЛА и мини-БЛА изначально непригодны для решения вопроса обеспечения связи.

Анализ производимых отечественной промышленностью БЛА показал, что интерес представляют следующие образцы.

Лёгкие БЛА малого радиуса действия. Из всех рассмотренных БЛА этого класса целесообразней использовать БЛА «Типчак» (у данного летательного аппарата достаточно продолжительное время барражирования – 2,5 часа, полезная нагрузка составляет 10 килограммов, боевой радиус составляет 40 километров).

Лёгкие БЛА большого радиуса действия. В этом классе БАС с функцией платформ для средств радиосвязи интерес представляет «Орлан-10».

БЛА «Орлан-10» имеет неоспоримое преимущество по способу старта\посадки и по компактности исполнения, что позволяет сделать его максимально мобильным. Однако данный БЛА уступает БЛА «Дозор-100» по грузоподъемности (5 килограмм) и по дальности полёта (600 километров), зато выигрывает по времени нахождения в воздухе (12 часов).

Все БЛА среднего и тяжёлого класса имеют приемлемую транспортную нагрузку, что позволит разместить на них значительно более мощные ретрансляторы связи, сложные антенно-фидерные комплексы и, как следствие, реализовать расширение зоны покрытия радиосигнала. Но недостатком остаётся зависимость от аэродромного-технического обеспечения, следовательно применение данных БЛА

целесообразно только в рамках объединений где возможно обеспечить также их боевую устойчивость.

В отдельную категорию можно выделить БАС с вертолётным БЛА. Данные системы имеет самую большую полезную нагрузку (до 80 килограммов), но имеет небольшую дальность полёта (до 137 км) и время полёта составляет до 4 часов.

Исходя из вышеперечисленного в условиях увеличения зон ответственности частей и подразделений МО, повышения требований к мобильности и кардинального уменьшения времени на принятие решения в той или иной ситуации, появление на вооружении комплексов разведки управления и связи, необходимо средство, которое позволит обеспечить высокую связность между удалёнными друг от друга подразделениями МО.

С этой точки зрения наибольшую перспективу для применения имеют лёгкие БЛА большого радиуса действия (БЛА «Орлан-10»), их легче всего включить в штат подразделений МО, так как вся БАС достаточно компактна и не требует аэродромного обеспечения, при условии уже созданных в соединениях рот БЛА.

В чём предполагается выигрыш в применении ретрансляторов связи на БЛА?

Самое главное, между наземными абонентскими станциями осуществляется вставка автоматического ретранслятора радиосигнала или станции радиодоступа, между которыми обеспечивается условия прямой видимости и практически полностью исключается влияние подстилающей поверхности. Зависимость высот антенн от дистанции между ними в условиях нормальной рефракции показаны на (Рисунок 1.) [4].

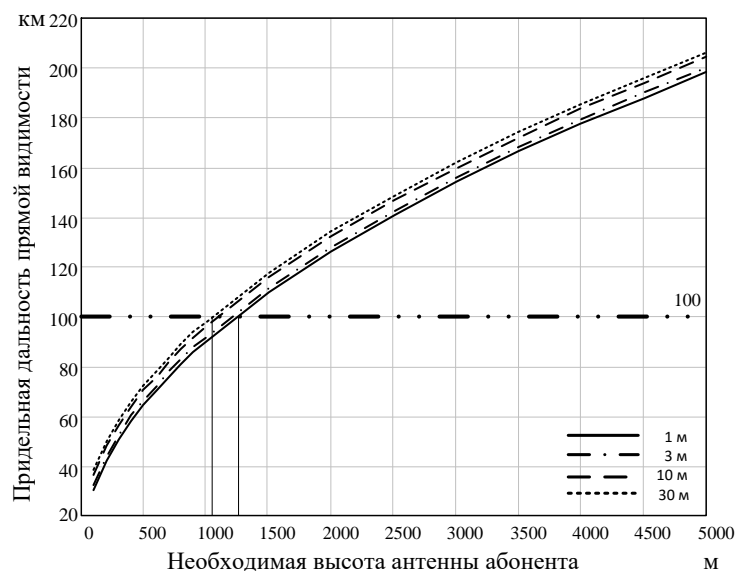


Рисунок 1 – Зависимость высот антенн от дальности

Следующий выигрыш заключается в том, что на ослабление радиоволны при распространении влияет только свободное пространство и рефракция.

Расчёты показывают, что на дистанции в 150 км, при мощности передатчик 1-3 Вт, ослабление радиосигнала для разных частот не превысит 95 дБ при средней чувствительности приёмников -101-120 дБ. Если данные показатели использовать при расчёте энергетического потенциала радиотрассы по первому уравнению

передачи, то дистанция радиосвязи увеличивается на 10-20 % в зависимости от используемых антенно-фидерных устройств [4], [5].

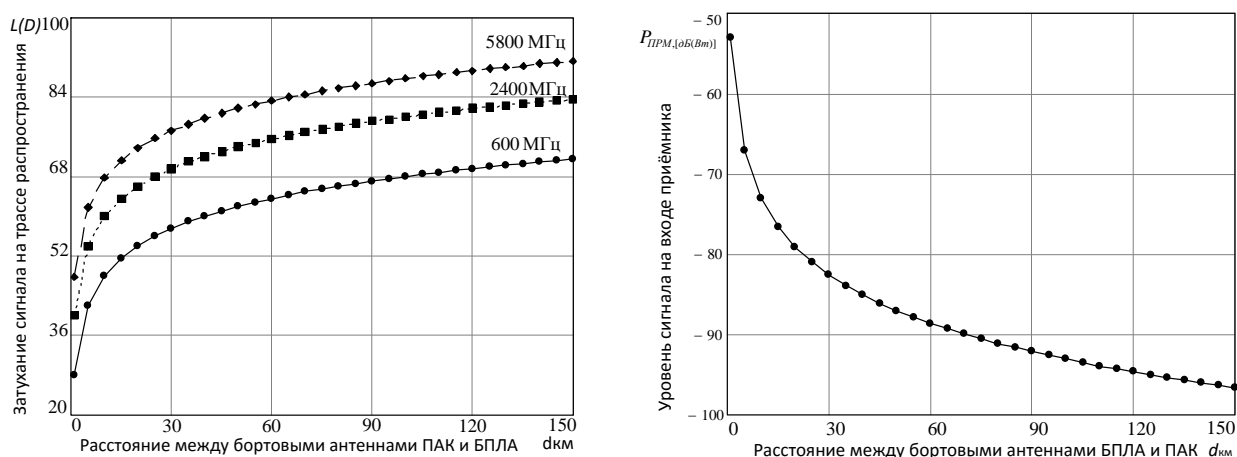


Рисунок 2 – Ослабление электромагнитной волны в свободном пространстве

Проведённый анализ систем и средств связи предполагаемого для воздушного базирования показал что:

ретрансляционное оборудование для существующих и перспективных платформ должно быть построено на базе универсальных, многодиапазонных программируемых цифровых радиостанций и широкополосных СВЧ систем связи общего пользования, использующих стандарты радиосредств сухопутных подразделений;

ретрансляторы должны обеспечивать одновременную работу в широком диапазоне частот, возможность оперативной смены диапазона, использовать режим ППРЧ, чтобы заставить средства РЭБ осуществлять поиск в широкой полосе частот как можно дольше;

возможность формирования радиосигналов различных стандартов и изменения ширины полосы канала ретранслятора с адаптацией параметров модуляции и кодирования при изменении помеховой обстановки или загрузки сети, расширения номенклатуры используемых простых и сложных сигналов;

для снижения электромагнитной доступности ретрансляторов радиосигнала для систем РЭБ противника необходимо предусмотреть адаптивное регулирование выходной мощности передатчика, применение широкополосных шумоподобных сигналов и направленных антенн;

для сведения к минимуму возможности постановки прицельной помехи приёмникам наземных станций и воздушных ретрансляторов необходимо применение дуплексного разнеса частот приёма и передачи;

подвижность воздушных ретрансляторов в районах применения усложняет их обнаружение, идентификацию и пеленгование средствами радиоэлектронной разведки противника;

ретрансляторы на воздушных носителях должны обеспечивать малое время функционирования соединения «борт - земля» и «борт-борт» в одной и той же конфигурации.

Слабые стороны применения БРРС:

использование больших высот полёта носителя БРРС (от 2-5 км), повышают их электромагнитную и энергетическую доступность для средств РЭР и радиоэлектронного подавления (РЭП);

наличие прямых дуплексных каналов радиосвязи между БЛА и наземным пунктом управления (НПУ), позволяющих осуществить РЭП путём воздействия помехой на любые из этих каналов;

РЭП приёмных устройств многоканальных ретрансляторов позволяет снизить возможности по организации связи большого количества корреспондентов (в том числе энергетически недоступных) одновременно, применяя ограниченный ресурс помех.

Минусы применения лёгких БЛА как носителей ретранслятора заключаются в сильной зависимости от сложных метеорологических условий, таких как скорость ветра свыше 15 м/с, обледенение [6]. Данные факторы существенно влияют на выбор высоты полёта, что в свою очередь влечёт к снижению электромагнитной доступности на участке «НПУ-БЛА» и «БЛА – наземный абонент».

Недостатками применения разведывательных и ударных БЛА в качестве ретрансляторов является:

ограниченный ресурс канала передачи данных приходится делить между, передачей данных телеуправления и телесигнализации, разведки и ретрансляции сигналов связи;

увеличение количества каналов ретрансляции приводит к увеличению массогабаритных показателей целевого оборудования, что ведёт к увеличению требований по грузоподъёмности БЛА.

сложность совмещения ретрансляционного оборудования с радиостанциями наземных тактических подсетей сети радиосвязи.

Поэтому для полной реализации всех потенциальных возможностей размещения ретрансляторов радиосигнала на БЛА необходимо создание целевой полезной нагрузки именно для решения задач обеспечения связи наземных подразделений действующих в отрыве от основных сил.

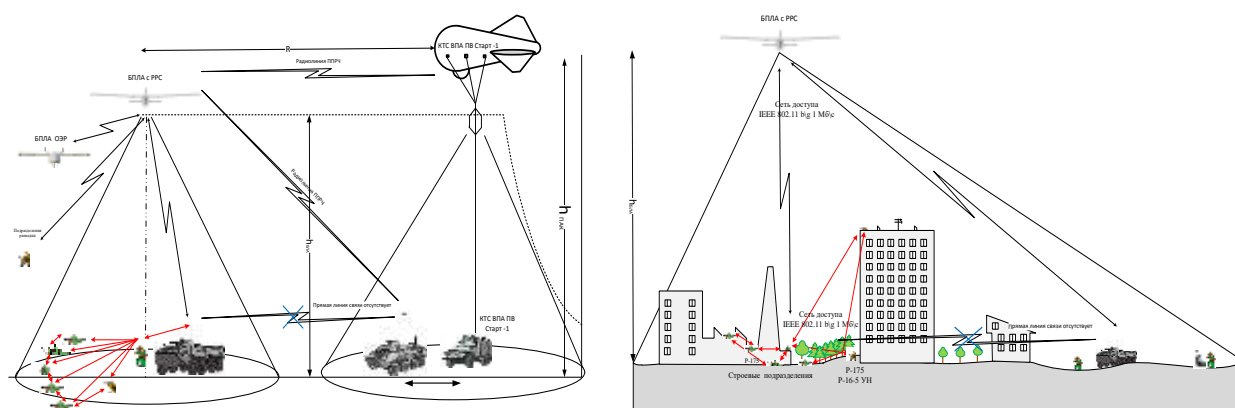


Рисунок 3 – Схемы применения БЛА и ПАК с ретранслятором радиосигнала на борту

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. В. Ростопчин, «Современная классификация беспилотных авиационных систем военного назначения», WWW.UAV.RU, 2013. [В Интернете]. Режим доступа: <http://bp-la.ru/>. [Дата обращения: 13.11.2013].
2. Красильников М. Н., Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных летательных аппаратов, Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009, С. 1-36.
3. Ричард Ридгвэй, «DARPA. NewsEvents. Releases», 7.03.2014. [В Интернете]. Режим доступа: <http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2014/04/07.aspx>. [Дата обращения: 1.10.2014].
4. Дмитриев В. И., Галимов А. Ф., «Энергетический расчёт участка между высокоподнятой антенной и беспилотным летательным аппаратом составной радиолинии», Научно технический сборник № 91. Труды академии. С. 30-37, 2015.
5. Дмитриев В.И., Галимов А.Ф., Пылаев Н.А., «Энергетический расчёт участка между беспилотным летательным аппаратом и подвижным объектом, составной радиолинии». Научно-технический сборник №91. Труды ВАС., № 91, С. 23-30, 2015.
6. Дмитриев В. И., Галимов А. Ф., «Учёт метеорологических факторов при обосновании высоты полёта БЛА с бортовым ретранслятором радиосвязи» Научно технический сборник №83. Труды ВАС., С. 228-235, 2014.

А.В. МОЛОСТВОВ, испытательный полигон
3 ЦНИИ МО РФ

О.П. МАРКОВ, испытательный полигон 3 ЦНИИ
МО РФ

С.В. ШИШКОВ кандидат технических наук., до-
цент кафедры проектирования и эксплуатации
РАВ Пензенского филиала Военной академии ма-
териально-технического обеспечения имени гене-
рала армии А.В. Хрулева

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ИНТЕРЕСАХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПОЛИГОНОВ

В настоящее время руководством Министерства обороны Российской Федерации уделяется большое внимание разработкам беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Стимулом к развитию беспилотной авиации послужило успешное и широкое применение БЛА странами НАТО в ходе проведения специальных операций против террористических организаций и вооруженных сил некоторых государств.

Развитие современных и перспективных технологий позволяет сегодня БЛА успешно выполнять такие функции, которые в прошлом были им недоступны и выполнялись другими значительными силами и средствами.

К малогабаритным БЛА относят летательные аппараты массой не более 50-60 кг, не требующие для запуска и посадки специальных взлетно-посадочных полос.

Такие БЛА запускаются с помощью пневматической или резино-жгутовой катапульты, либо с руки оператора. Летательные аппараты выполняются по классической аэродинамической самолетной схеме, либо по аэродинамической схеме «летающее крыло».

На борту БЛА размещаются: силовая установка, средства управления, навигации и связи, целевая нагрузка.

Силовая установка представляет собой двигатель внутреннего сгорания, электро - либо турбореактивный двигатель. Реже встречаются БЛА с пульсирующим воздушно-реактивным двигателем.

Основную функциональность БЛА определяет его полезная нагрузка. В качестве полезной нагрузки может быть использовано:

- цифровой фотоаппарат;
- видеокамера;
- тепловизор;
- средства имитации воздушных целей.

Основные лётно-технические характеристики малогабаритных БЛА:

- взлетная масса – до 60 кг;
- радиус действия – до 100 км;
- размах крыла – до 2,5 м;

время полета – 1- 5 часов;
высота полета – до 5 км;
скорость полета – 60 – 140 м/с;
масса полезной нагрузки – 1-3 кг;
гарантийный ресурс летательного аппарата – от 50 до 100 полетов.

С помощью современных высокотехнологичных БЛА возможно определение координат объектов на основе точного фотограмметрического расчета, выполняемого в реальном масштабе времени с компенсацией влияния как угловой динамики БЛА, так и рельефа местности [1]. Положение курсора при этом на экране монитора наземной станции управления на изображении динамически, без задержек, пересчитывается в координаты на местности как в системе координат СК-42, так и в системах ПЗ-90 и WGS-84.

В пилотажно-навигационной системе таких БЛА ведется инерциальное счисление координат с частотой до 50 Гц при непосредственном измерении параметров углового положения. Это позволяет реализовывать достижение предельной, принципиально возможной, точности определения координат объектов по изображениям: до 15 м в абсолютном выражении и до единиц метров в относительном выражении.

На испытательном полигоне предлагается применять БЛА для решения следующих задач:

- картографирование, аэрофотосъемка и видеосъемка стрельбового поля;
- осуществление поиска и топографической привязки мест разрывов боеприпасов ствольной и реактивной артиллерии реальном времени, т.е. БЛА в этом случае выступает как измерительное средство;
- проведение паспортизации измерительных пунктов (средств) полигона;
- проведение тренировок операторов измерительных пунктов (средств) полигона, а также стрелков-зенитчиков и операторов комплексов разведки;
- проведение облетов зенитно-ракетных комплексов, звуко-тепловых, оптико-электронных и радиолокационных средств разведки;
- обеспечение своевременного обнаружения посторонних лиц и домашнего скота в местах возможного падения боеприпасов при проведении испытаний;
- обеспечение мониторинга объектов в случае возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций, когда нахождение людей на этой местности невозможно по соображениям безопасности;
- осуществление охраны (мониторинга) объектов полигона;
- своевременное обнаружение степного пожара и оценка его масштаба, для принятия решения о привлечении сил и средств по его тушению.

В связи с высокой стоимостью БЛА предполагается его использовать при проведении важных и особо важных работ.

Для обеспечения максимального разрешения целевого оборудования необходимо выполнять полет БЛА на минимальной высоте над подстилающей поверх-

ностью. Однако при этом существуют ограничения на минимальную высоту полета вызванные рядом требований:

обеспечение прямой радиовидимости с БЛА при передаче команд управления и получения телеметрической и видовой информации;

обеспечение безопасного полета на сложных рельефах и при наличии высотных сооружений (вышки, мачты, опоры);

обеспечение безопасного пролета БЛА над местами разрывов при ведении огня ствольной артиллерией, минометами и РСЗО.

Дальность прямой радиовидимости с БЛА рассчитывается по формуле:

$$r = 3.57 * (\sqrt{H_{\text{ПРД}}} + \sqrt{H_{\text{ПРМ}}}) \quad (1);$$

где r – дальность прямой радиовидимости, км; $H_{\text{ПРД}}$ и $H_{\text{ПРМ}}$ – высота расположения передающей и приемной антенн соответственно, м [2].

Из приведенной формулы видно, что в силу существенной разницы в высоте полета БЛА и высоте наземных антенн наибольший результат при увеличении дальности прямой радиовидимости можно получить путем увеличения высоты полета БЛА.

График зависимости дальности прямой радиовидимости с БЛА от высоты полета при высоте наземной антенны 3 м представлен рисунке 1.

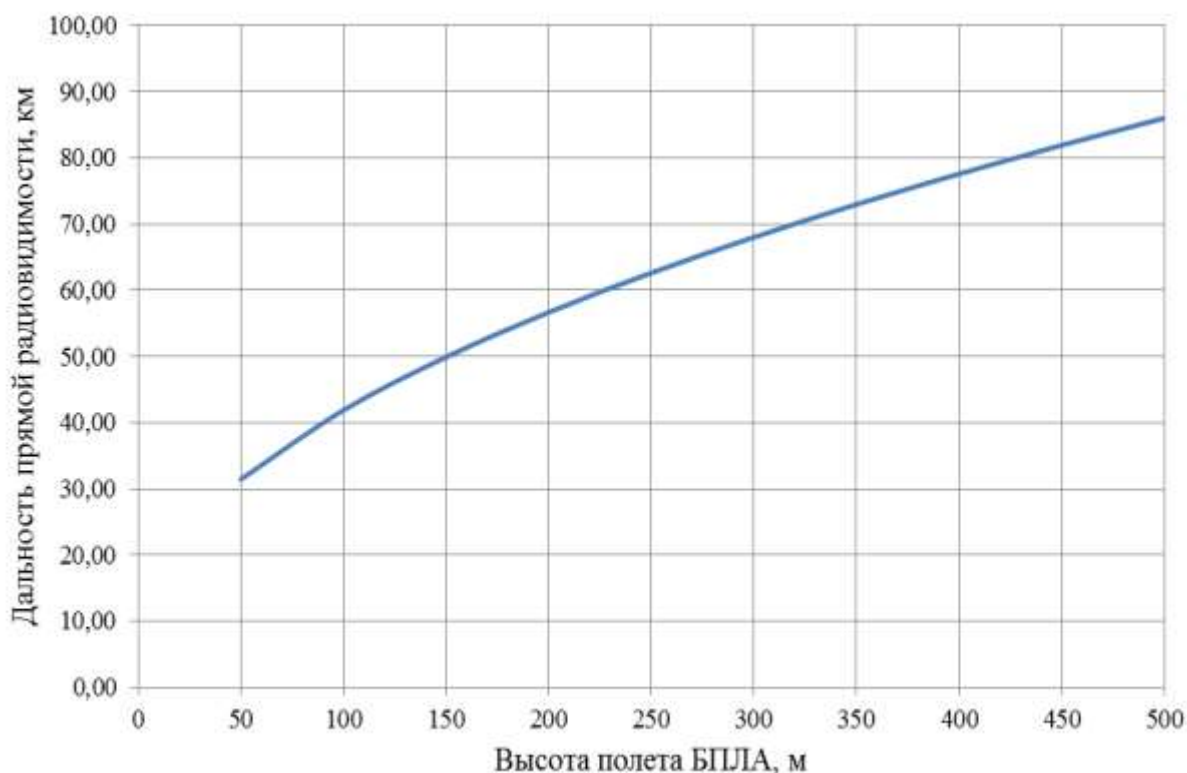


Рисунок 1 – График зависимости дальности прямой радиовидимости с БЛА от высоты полета

Таким образом, для выполнения полетов БЛА в условиях испытательного полигона 3 ЦНИИ МО РФ (ст. Донгузская) необходимо иметь комплекс с БЛА, обеспечивающий высоты применения 0...1000 м над уровнем моря.

Для решения задач аэрофотосъемки в качестве целевого оборудования в

составе БЛА могут применяться авиационные аэрофотоаппараты (АФА) или цифровые аэрофотоаппараты (ЦАФА). По сравнению с видеокамерами они имеют большую разрешающую способность и используются, главным образом, для ведения плановой съемки местности.

Послеполетная обработка («сшивка») изображений в ручном или автоматизированном режиме позволяет получать детальные фотопланы местности.

Для обеспечения стрельбовых работ максимальная дальность полета БЛА должна быть 100-110 км.

Комплекс БЛА должен иметь самодостаточный, целостный, логически завершённый комплекс программно-аппаратных средств предполетной подготовки и планирования полета на видео и аэрофотосъемку, сопровождения полета и коррекции полетного задания, обработки поступающей с борта видеоинформации в масштабе реального времени и послеполетной обработки, оперативной подготовки отчета и передачи «на лету» данных об обнаруженных объектах.

Оснащение испытательного полигона комплексами БЛА расширит функциональный потенциал полигона, повысит оперативность получения данных и принятия решения.

Кроме того комплекс БЛА может использоваться как дополнительное средство измерений при проведении испытаний боеприпасов ствольной и реактивной артиллерии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева, «Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования».
2. А.В. Журавлева, учебное пособие «Радиоэлектроника».

Д.А. ШЕВЦОВ, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
С.М. МУСИН, доктор технических наук, профессор, АО «Технодинамика» (г. Москва)
И.С. ТУРЧЕНКО, кандидат технических наук, АО «Технодинамика» (г. Москва)

МНОГОПУЛЬСНОЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КАНАЛА ГЕНЕРИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Анализ научно-технических публикаций отечественных и зарубежных авторов [1, 2] показывает, что одной из основных тенденций при проектировании выпрямительных устройств для беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является реализация многопульсного и многофазного выпрямления напряжения переменного тока. Многопульсное выпрямительное звено позволяет уменьшить уровень пульсаций выходного напряжения и снизить требование к значению емкости сглаживающего фильтра.

Применение специализированных высокооборотных генераторов, имеющих 6 и более выходных фаз (кратных 3-м) позволяет реализовать многофазное выпрямление напряжения переменного тока, а также снизить массо-габаритные характеристики агрегата и преобразователя канала генерирования постоянного тока.

Рассмотрим перспективную структуру системы электроснабжения (СЭС) для БЛА, имеющую два канала генерирования: переменного и постоянного тока, электрически развязанные между собой.

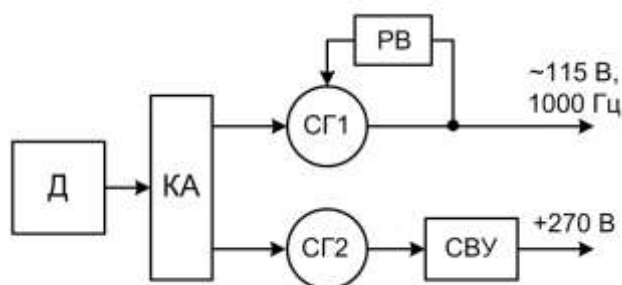


Рисунок 1 – Структура перспективной СЭС смешанного типа с двумя генераторами переменного тока переменной частоты

Приведенная на рисунок 1 структура СЭС содержит два генератора переменного тока, соединенные через коробку агрегатов (КА) с двигателем (Д). Один из синхронных генераторов (СГ1) является регулируемым при помощи регулятора возбуждения (РВ) и формирует на выходе трехфазное напряжение 115/200В частотой 1000Гц для питающий потребителей переменным током. Нерегулируемый высокооборотный синхронный генератор (СГ2) с постоянными магнитами второго канала формирует многофазное напряжение 115/200В переменной повышенной ча-

стоты и питает стабилизированное выпрямительное устройство (СВУ), формирующее 270 В. От шины «270В» возможно, при применении понижающего преобразователя, получить напряжение 27 В постоянного тока для питания соответствующей аппаратуры.

В рамках реализации предлагаемого варианта СЭС, предлагается новая структура трехфазного многопульсного СВУ (рисунок 2), которая базируется на применении дросселей насыщения (ДН).

Стоит обратить внимание на то, что применение в структурах бортовых 13

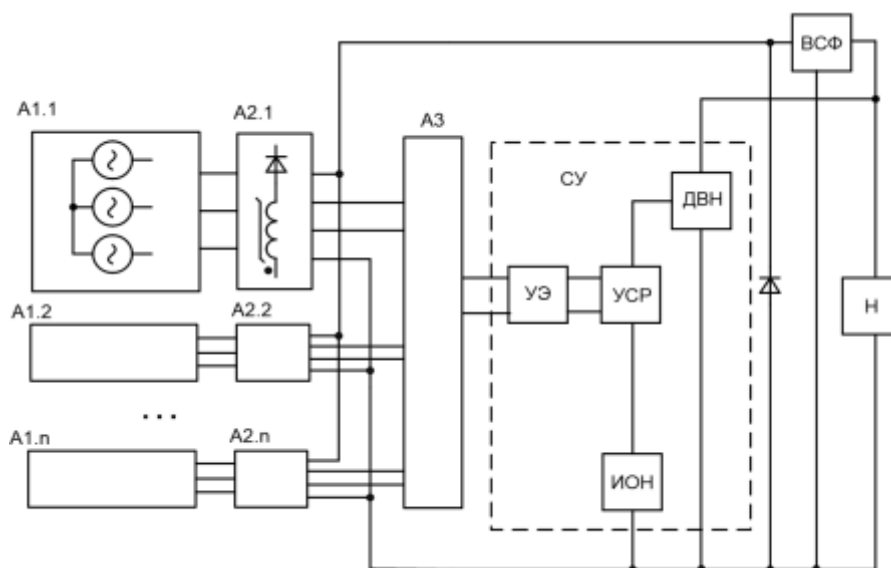


Рисунок 2 – Структура многопульсного СВУ на базе ДН

Предлагаемая структура СВУ содержит: источник напряжения переменного тока А1, трехфазный диодный мост А2 с 6-ю ДН, включенными последовательно с силовыми диодами, блок маломощных разделительных диодов А3, выходной сглаживающий фильтр (ВСФ), нагрузку (Н), систему управления (СУ) с датчиком выходного напряжения (ДВН), усилителем сигнала рассогласования (УСР), источником опорного напряжения (ИОН), управляющим элементом (УЭ). Количество троек фаз первичного источника А1 и, соответственно, количество выпрямительных мостов с ДН выбирается в результате оптимизационных расчетов.

Выбор магнитопровода дросселя насыщения [3] для конкретного решения зависит от обеспечения необходимого геометрического фактора.

По методике [4] были рассчитаны параметры ДН для СВУ, имеющего номинальную выходную мощность 3кВт с выходным напряжением 270В постоянного тока. Расчет был проведен для различных частот питающего напряжения с действующим значением 115 В, формируемого генератором, а именно: 1,5 кГц, 2,5 кГц, 5 кГц. Расчеты были проведены для 6-фазного синхронного генератора переменного тока. Результаты расчетов сведены в табл. 1. В данной таблице приведены следующие рассчитанные параметры ДН: количество витков, размеры выбранных тороидальных сердечников (D, d, h), массы сердечника и обмотки ДН, потери в сердечнике и обмотке ДН, массы одного и всех ДН в структуре ВУ, потери в ме-

ди и в стали одного ДН и суммарные всех ДН в структуре ВУ, суммарный КПД ДН, суммарная удельная масса ДН.

Таблица 1

Мощность, кВт	3		
Вых. напряжение, В	270		
Частота сети, Гц	1500	2500	5000
Количество фаз	6	6	6
V_s , Тл	1,1		
Количество витков	607	450	210
D , мм	50	42	35
d , мм	35	30	25
h , мм	10	10	10
масса сердечника, кг	0,074	0,050	0,035
масса обмотки ДН, кг	0,067	0,042	0,019
масса ДН, кг	0,14	0,092	0,055
Потери в меди ДН, Вт	13,5	8,54	4,0
Потери в стали ДН, Вт	0,12	0,17	0,3
Потери $_{\Sigma}$ в ДН, Вт	13,6	8,71	4,3
Потери $_{\Sigma}$ всех ДН, Вт	163,5	104,5	51,7
КПД $_{\Sigma}$ ДН, %	94,5	96,5	98,2
Масса $_{\Sigma}$ ДН, кг	1,685	1,1	0,654
Уд. масса $_{\Sigma}$ ДН, кг/кВт	0,562	0,369	0,218

ВЫВОДЫ

Применение многофазного генератора переменного тока для построения канала электропитания постоянного тока, позволяет реализовать многопульсное выпрямление, отказаться от ненадежных и пожароопасных электролитических конденсаторов, что положительно сказывается как на уменьшении массы устройства, так и на повышении его надежности.

Предлагаемая структура СЭС может найти применение на вертолетах, ракетной технике и беспилотных ЛА с энергоемким оборудованием.

Предложенные структуры СЭС можно реализовать с применением стабилизированных выпрямительных устройств на дросселях насыщения. Согласно результатам расчетов, сведенным в табл. 1, можно заключить, что оптимальным является увеличение фазности (пульсности) выпрямления (фаз питающего генератора) до 2-3-х троек и увеличение частоты генератора до 5 кГц. Стоит учесть, что при таких частотах следует встраивать ВУ в корпус генератора, чтобы исключить влияние паразитных эффектов в проводах. При частоте выходного напряжения генератора порядка 5 кГц, СВУ на ДН имеет удельную массу активных компонентов, значение которой ниже, чем у известных зарубежных и отечественных аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грузков, С.А. Системы электроснабжения летательных аппаратов. Том 1 [Текст] / С.А. Грузков, С.Ю. Останин, А.М. Сугробов, А.Б. Токарев, П.А. Тыричев. - М.: Издательство МЭИ, 2005. - 568 с.

2. Шевцов, Д.А. Однообмоточные дроссели насыщения в авиационных источниках вторичного электропитания [Текст] / Д.А. Шевцов, И.С. Турченко / Вестник Московского авиационного института, №3 т.20. - М., 2013. - с. 145 – 153.
3. Стародубцев, Ю.Н. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов [Текст] / Ю.Н. Стародубцев, В.Я. Белозеров – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2002. - 384 с.
4. Шевцов, Д.А. Методика проектирования управляемых дросселей авиационных выпрямительных устройств нового поколения [Текст] / Д.А. Шевцов, И.С. Турченко / Вестник Московского авиационного института, №1 т.22.– М., 2015. – с.122-131.
5. ГОСТ 54073-2010. система электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2010.

К.Л. ОВЧАРЕНКО, адъюнкт кафедры технических средств комплексов контроля ракетно-космических объектов Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского

И.Ю. ЕРЕМЕЕВ, доктор технических наук, профессор, начальник кафедры технических средств комплексов контроля ракетно-космических объектов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА РАДИОКОНТРОЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ VSAT С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕТРАНСЛЯТОРА НА ЛЁТНО-ПОДЪЁМНОМ СРЕДСТВЕ

В настоящее время всё более активное использование получают системы, построенные на базе технологии VSAT (Very Small Aperture Terminal), излучениями которых занято не менее 80% всего частотного ресурса ССС. Их широкое распространение обусловлено низкими затратами на развёртывание и эксплуатацию, надёжностью и безопасностью связи.

К системам, построенным на базе технологии VSAT, принято относить ССС, содержащие в своем составе следующие компоненты:

- Центральную земную станцию (ЦЗС), предназначенную для управления распределением ресурсов системы;
- Земную станцию (ЗС), предназначенную для передачи и приёма пользовательской информации;
- Космический аппарат-ретранслятор (КА), предназначенный для ретрансляции сигналов ЦЗС и ЗС.

Общие принципы организации связи в спутниковых системах VSAT иллюстрируются на рисунке 1.

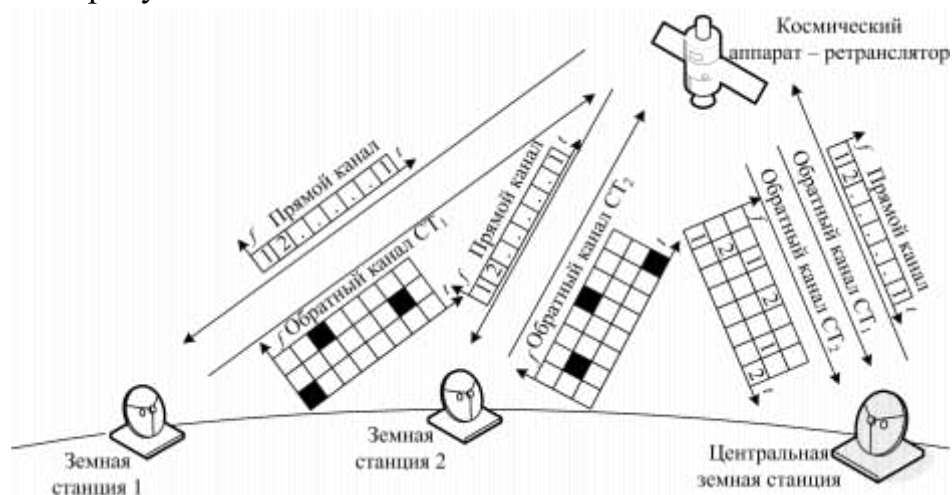


Рисунок 1 — Структура организации связи в ССС VSAT

Под прямым каналом передачи данных в VSAT системах понимается канал в направлении от ЦЗС до ЗС через КА, под обратным — от ЗС до ЦЗС через КА. В

зависимости от назначения и энергетики КА сети VSAT могут иметь радиальную, узловую или смешанную структуры. При организации связи по радиальной топологии («звезда») пользовательские данные между ЗС передаются через ЦЗС, а при узловой («каждый с каждым») – напрямую, минуя ЦЗС.

Для ЗС ССС VSAT характерны сравнительно небольшие габариты антенных систем (до 1,8 м.) и узкие диаграммы направленности (ДН), ширина основного лепестка которых не превышает нескольких градусов. Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) ЗС ССС VSAT ограничивается с целью недопущения создания помех смежным КА на геостационарной орбите.

В связи с активным развитием ССС участились случаи несанкционированного использования частотного ресурса, в результате чего операторы спутниковой связи вынуждены терпеть убытки. Однако, метод подавления пиратских сигналов путем увеличения мощности собственных ЗС, наиболее часто используемый операторами, не всегда может быть применим. К одним из альтернативных способов борьбы с указанными нарушениями относится определение местоположения (ОМП) и источника мешающих сигналов.

Традиционно, для функционирования системы ОМП пространственно-временная база измерения КИП может быть сформирована на основе КА, расположенных на геостационарной орбите. Для оценивания КИП необходимо обеспечить энергетическую доступность, под которой понимается возможность комплекса РК производить измерения КИП по радиосигналам ЗС с заданной точностью. Как правило, для получения значений КИП с заданной точностью необходимо добиться отношения сигнал/шум (ОСШ) не менее 10 дБ [1].

При реализации данных подходов либо не удаётся обеспечить энергетическую доступность излучений ввиду узких ДН ЗС ССС VSAT, либо время формирования базы измерений координатно-информативных параметров (КИП) составляет около суток. В качестве измеряемых КИП могут выступать амплитуда A , фаза φ , частота F , разность частот ΔF , разность задержек $\Delta \tau$ и др. [2].

Цель статьи состоит в описании модели функционирования комплекса РК ССС VSAT с применением подвижного ретранслятора на лётно-подъёмном средстве (ЛПС), что позволит обеспечить энергетическую доступность и требуемую оперативность для формирования пространственной базы измерений КИП.

В ССС VSAT ЗС передают пакеты в строго отведённые им временные интервалы для обеспечения устойчивого функционирования в режиме с МДВР или МЧ-МДВР. В силу неточности выведения КА на геостационарную орбиту, влияния Луны и других небесных объектов КА дрейфует относительно определённой подспутниковой точки, что приводит к временным задержкам распространения сигналов, которые могут составлять до 120 мкс [3].

Для обеспечения приёма пакета ЗС в заданном интервале, который отображен на рисунке 2 выноской 3, ЦЗС осуществляет корректировку временных задержек с помощью пакетов синхронизации в прямом канале, показанных выноской 1. При первичном приёме пакета синхронизации ЗС через некоторое время T_0 отправ-

ляет в обратном канале пакет, обозначенный выноской 2. ЦЗС принимает данный пакет и вычисляет $T_{\text{ош}}$ – ошибку времени получения пакета от ЗС. Совместно со следующим пакетом синхронизации ЦЗС передает на ЗС данные о величине $T_{\text{ош}}$ для корректировки временной задержки T_0 – для того, чтобы пакеты от ЗС поступали на ЦЗС в заданном временном интервале, отмеченном выноской 3. Таким образом, из приведенного описания следует, что величина временной задержки между приёмом пакета синхронизации от ЦЗС и отправкой пакета ЗС на протяжении сеанса передачи данных постоянна и может быть приближенно вычислена с учетом протяженности трассы ЗС–КА–ЦЗС.

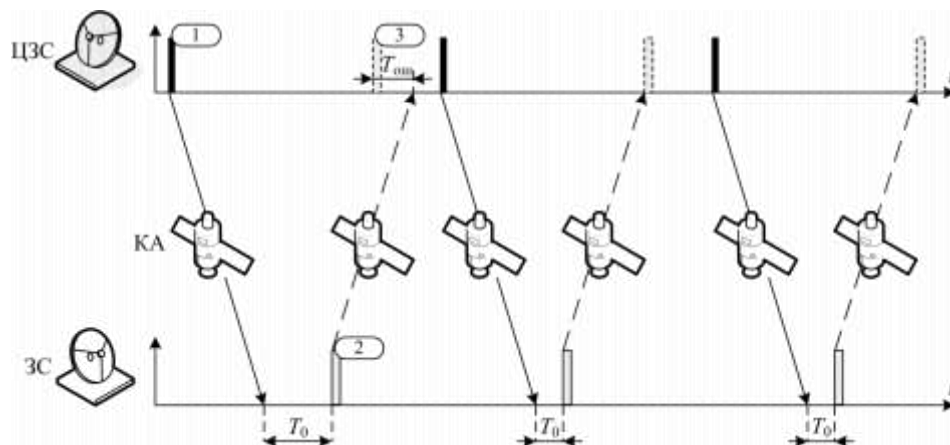


Рисунок 2 – Схема временной синхронизации в VSAT сетях с МЧ-МДВР

Основываясь на этом утверждении, можно ввести следующее допущение: на интервале передачи данных координаты КА и ЗС остаются постоянными. С учётом этого время распространения сигналов по трассе ЦЗС–КА–ЗС также не изменится.

На рисунке 3 иллюстрируется модель функционирования комплекса РК CCC VSAT. Пакет синхронизации от ЦЗС в прямом канале, изображенный на рисунке 3 выноской 1, поступает на вход ЗС. Далее через интервал времени T_0 ЗС излучает пакет в обратном канале, который обозначен выноской 2. В свою очередь, комплекс РК принимает пакет синхронизации от ЦЗС в момент времени $t_{\text{ПК}}$, а ретранслированный ЛПС пакет от ЗС – в момент времени $t_{\text{ОК}}$.

Очевидно, что моменты времени $t_{\text{ПК}}$ и $t_{\text{ОК}}$ не могут быть определены абсолютно точно. Ошибки их измерения $\hat{e}_{\text{ПК}}$ и $\hat{e}_{\text{ОК}}$ можно считать независимыми нормальными случайными величинами с нулевым математическим ожиданием и дисперсиями σ^2 . Согласно рисунку 3, разность моментов времени приёма пакетов синхронизации может быть вычислена по формуле (1)

$$\begin{aligned} \Delta \hat{t} &= \hat{t}_{\text{ОК}} - \hat{t}_{\text{ПК}} = t_{\text{ОК}} + \hat{e}_{\text{ОК}} - (t_{\text{ПК}} + \hat{e}_{\text{ПК}}) = t_{\text{ПК}} + T_3 + T_1 + T_2 + \\ &+ \hat{e}_{\text{ОК}} - (t_{\text{ПК}} + \hat{e}_{\text{ПК}}) = T_3 + T_1 + T_2 + \hat{e}_{\Sigma}, \end{aligned} \quad (1)$$

где T_3 – интервал времени между приёмом пакета синхронизации ЦЗС комплексом РК и излучением пакета синхронизации в обратном канале ЗС;

T_1 – время распространения сигнала в обратном канале от ЗС до ретранслятора на ЛПС;

T_2 – время распространения сигнала от ретранслятора на ЛПС до комплекса РК;

$e_{\Sigma}^{\wedge} = e_{\text{OK}}^{\wedge} - e_{\text{ПК}}^{\wedge}$ – результирующая ошибка измерения времени поступления пакетов синхронизации.

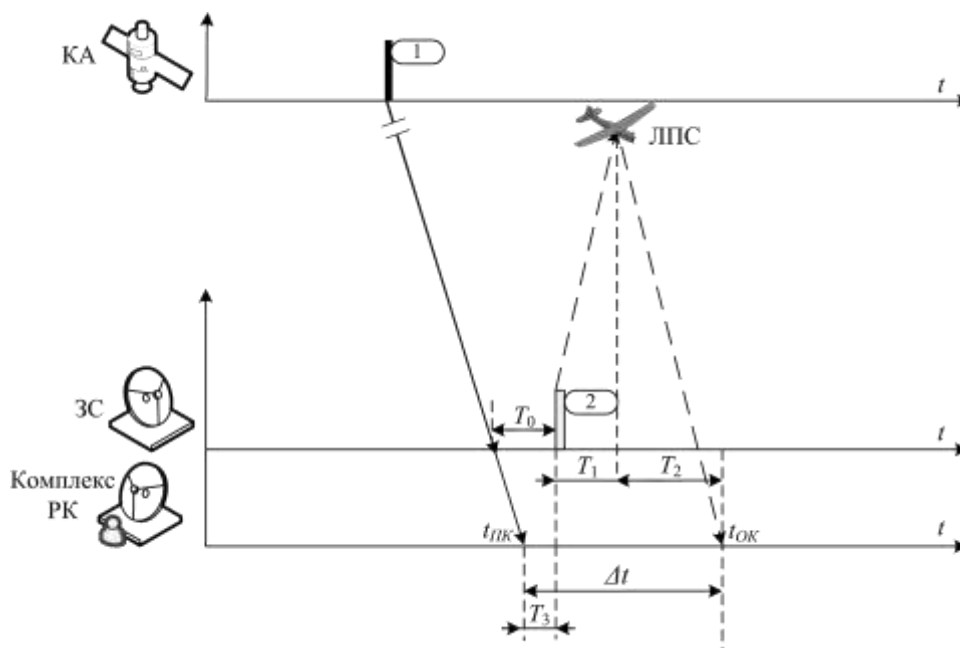


Рисунок 3 — Схема функционирования комплекса РК при измерении КИП ЗС систем VSAT

От разности моментов времени приёма пакетов $\Delta \hat{t}$ в прямом и обратном каналах можно перейти к разности расстояний $\Delta \hat{R}$

$$\Delta \hat{R} = \hat{t} \cdot C = R_{\text{ЗС}} + R_{\text{ЛПС_ЗС}} + R_{\text{ЛПС_РК}} + \hat{e}_R, \quad (2)$$

где C – скорость распространения радиоволн;

$R_{\text{ЗС}}$ – постоянная на всём интервале измерения величина, прямо пропорциональная неизвестному интервалу времени T_3 ;

$R_{\text{ЛПС_ЗС}}$ – расстояние от ЗС до ретранслятора на ЛПС;

$R_{\text{ЛПС_РК}}$ – расстояние от ретранслятора на ЛПС до комплекса РК;

\hat{e}_R – случайная величина, равная $\hat{e}_{\Sigma} \cdot C$.

В формуле (2) разность $\Delta \hat{R}$ содержит слагаемое $R_{\text{ЛПС_ЗС}}$, равное расстоянию трассы ЛПС–ЗС, постоянную составляющую $R_{\text{ЗС}}$, величину $R_{\text{ЛПС_РК}}$, значение которой может быть вычислено (по известным координатам ЛПС и комплекса РК) и некоторую погрешность измерений \hat{e}_R , распределённую по нормальному закону. Таким образом, можно применить псевдодальномерный метод определения координат источника радиоизлучения (ИРИ) [4], позволяющий однозначно определить местоположение ЗС путем формирования пространственной базы измерений КИП подвижным ретранслятором на ЛПС.

В качестве ЛПС целесообразно использовать беспилотный летательный аппарат (БЛА) как одно из наиболее эффективных средств РК. Характеристики БЛА «Орлан-10» приведены в таблице 1.

Таблица 1- Характеристики БЛА «Орлан-10»

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения параметра
1	Масса полезной нагрузки, кг	2,5
2	Скорость полёта, км/час	70..150
3	Максимальная продолжительность полёта, ч.	10
4	Максимальная высота полёта, км	5
5	Максимальный радиус применения, км	300

Для достижения максимально возможной точности при оценивании координат ИРИ необходимо выбирать траекторию движения измерителя таким образом, чтобы она описывала окружность относительно предполагаемого места расположения ИРИ [4].

Маршрут движения ретранслятора на ЛПС иллюстрируется рисунком 4, на котором расположение наземного пункта управления (НПУ) БЛА совмещено с комплексом РК. ЛПС осуществляет взлёт в районе НПУ, производит набор высоты $h_{\text{ЛПС}}$ и выдвижение к предполагаемому району местоположения ЗС CCC VSAT. Далее ЛПС делает облёт указанного района по окружности с радиусом $R_{\text{ЛПС}}$, ретранслируя сигнал ЗС на комплекс РК, где производится оценивание КИП.

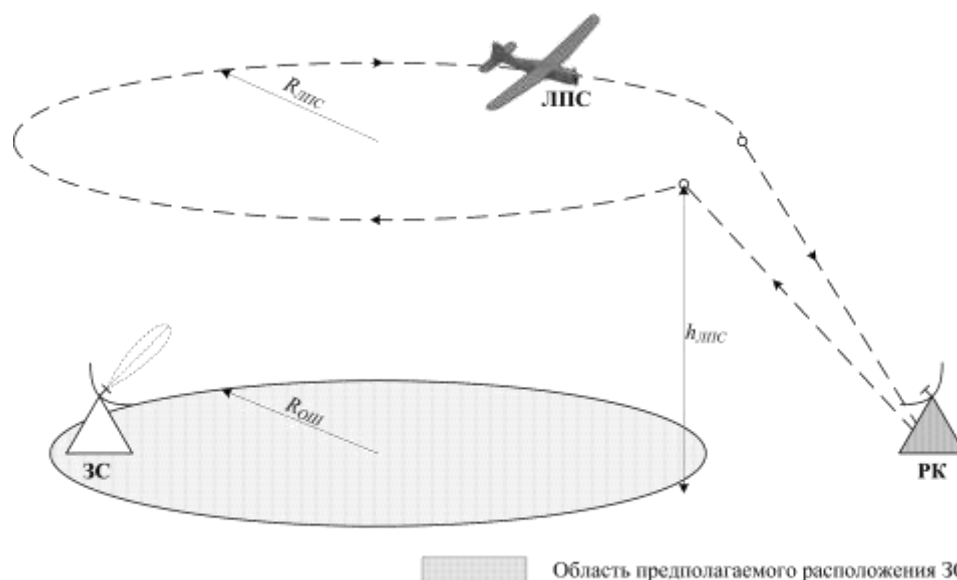


Рисунок 4 — Схема формирования базы измерения КИП с применением ретранслятора на ЛПС при ведении РК CCC VSAT.

Оценивание энергетической доступности было проведено на основе методик расчёта радиорелейных линий [5, 6]. В качестве параметров аппаратуры комплекса РК и ЗС CCC VSAT были приняты типовые значения.

Результаты свидетельствуют о том, что при расстояниях ЗС-ЛПС < 30 км и ЛПС-РК < 50 км мощность сигнала на входе комплекса РК превышает значение минус 120 дБм, что соответствует рабочей чувствительности приёмника.

На тех же расстояниях ЗС-ЛПС и ЛПС-РК минимальное значение, которое принимает величина ОСШ составит минус 3 дБ. Такая оценка была получена для единичной базы при ширине полосы 100 кГц и длительности сигнала 10 мкс. Полученное ОСШ может быть повышено до требуемого путём накопления сигнала при корреляционной обработке.

Таким образом, можно сделать вывод о перспективности использования Модели функционирования комплекса РК ССС VSAT с применением подвижного ретранслятора на ЛПС для оценивания КИП ЗС с требуемой оперативностью по сигналам прямого и обратного каналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А. М. Рембовского. — М.: Горячая линия - Телеком, 2008. — 492 с.
2. Обнаружение и анализ сигналов сложной структуры / А. В. Андреев, О. Н. Воронин, А. И. Замарин, В. М. Медведев; Под ред. А. И. Замарина. — СПб.: МО РФ, 1996. — 522 с.
3. Воронин А.В., Иванов В.Н. Способ определения местоположения VSAT-станций в спутниковой сети. — пат. 2450284 РФ: МПК G01S5/02 № 2010121505/07; заявл. 26.05.2010; опубл. 10.12.2011. — 4 с.
4. Овчаренко К.Л. Алгоритм расчета координат источника радиоизлучения дальномерным методом при однопозиционных измерениях с систематической ошибкой // Телекоммуникации. — 2014. — № 6. — С. 6–13.
5. ГОСТ Р 53363-2009. Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета.; Введ. 13.07.2009. — М.: Стандартинформ, 2010. — 39 с.
6. Мордухович Л. Г., Степанов А. П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1987. — 192 с.

В.Б. ВАСИЛЬЕВ, старший научный сотрудник
СПб Ф АО «Концерн «Вега»

И.Н. ОКОВ, доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник СПб Ф
АО «Концерн «Вега»

Ю.Н. СТРЕЖИК, ведущий программист
А.А. УСТИНОВ, доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник СПб Ф
АО «Концерн «Вега»

Н.В. ШВЕЦОВ, программист СПб Ф АО
«Концерн «Вега»

СЖАТИЕ И ЗАЩИТА ВИДЕОДАНЫХ В РАДИОКАНАЛАХ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ БЛА

В докладе приводятся результаты разработки алгоритмов сжатия цифровых изображений и видео информации с одновременным обеспечением защиты конфиденциальности и подлинности их передачи по радиоканалам обмена информации комплексов БЛА.

Для потребителей видовых данных с борта БЛА актуальным стало получение цветных и полутоновых черно-белых изображений размером кадра 25 Мпикселей и более с разрядностью до 12 бит на пиксель, а также видеоданных с качеством Full HD 1080p. Сжатые видовые данные могут записываться в бортовой регистратор, что требует их сжатия со значениями коэффициента сжатия не менее десятков раз при условии сохранения высокого качества сжатых данных. Для обеспечения оперативности доставки сжатые видовые данные должны передаваться по радиоканалам, для которых характерно значительное изменение условий радиосвязи и воздействие случайных и преднамеренных ошибок передачи с различными законами их распределения. Это обуславливает необходимость адаптации параметров сжатых видовых данных по скорости передачи и режимам помехозащиты. В силу низкой разведзащищенности радиоканалов обмена информации комплексов БЛА также требуется обеспечивать защиту конфиденциальности передаваемых и хранимых данных и их подлинности. Последняя задача традиционно обеспечивается использованием криптографических методов защиты, у которых, однако, есть определенный эксплуатационный недостаток: они существенно понижают помехоустойчивость передачи заверенной с их помощью информации. В части реализации также существенные трудности вызывает разработка малогабаритных бортовых средств обработки и передачи высокоскоростных потоков сжатых данных при условии минимизации энергопотребления.

В СПб Филиале АО «Концерн «Вега» разработана технология защищенного сжатия и передачи видео и аэрофото данных с борта БЛА.

Для построения алгоритмов сжатия были проанализированы принципы построения существующих стандартов сжатия цифровых изображений и видео дан-

ных JPEG2000, H.264 и H.265. В силу их основного предназначения они обладают недостатками, затрудняющими их использование в мобильных системах военного назначения. Они характеризуются низкой помехоустойчивостью: например, при вероятности ошибки на бит в канале передачи, начиная с 10^{-6} , качество видео данных H.264 и H.265 во всех их режимах становится недопустимо низким. Для максимального расширения области применения перечисленных стандартов в них предусмотрена существенная избыточность, что не вполне эффективно для построения достаточно узко специализированных видео кодеков комплексов БЛА. Известные стандарты построены по принципу: высокопроизводительная передающая часть, как правило, стационарная и работающая в широкополосном режиме, и существенно менее сложные видео декодеры, характерные для множества мобильных получателей. Однако в комплексах БЛА ситуация диаметрально противоположная: на передающей части сложность и энергопотребление бортовых видео кодеков целесообразно уменьшить, и это допустимо компенсировать использованием более высокопроизводительных и энергозатратных видео декодеров на наземных станциях приема.

В силу перечисленных причин был разработан адаптированный под мобильные объекты алгоритм сжатия и защиты видео данных в режиме трехмерной обработки. На первом этапе выполняется одномерное дискретное косинусное преобразование (ДКП) одноименных пикселей восьми последовательных кадров видео. На этом этапе преимущественно устраняется временная избыточность последовательных кадров видео. Затем над коэффициентами ДКП выполняется двумерное дискретное вейвлет преобразование (ДВП) первых трех уровней, устраняющее пространственную избыточность видео данных. Затем коэффициенты ДВП разделяются на битовые плоскости, каждую из которых разбивают на кодовые блоки требуемого размера. Считанная из кодового блока по заданному правилу двоичная последовательность в один проход сжимается модифицированным двоичным арифметическим кодером, в котором устраняется статистическая избыточность.

В арифметический кодер дополнительно встроена защита конфиденциальности и подлинности сжатых данных. Защита от несанкционированного просмотра построена на кодовом преобразовании с использованием конфиденциального ключа очередных сжатых байтов в зависимости от предыдущего состояния арифметического кодера. Это позволяет существенно повысить неопределенность нарушителя о защищаемых видовых данных. Защита от навязывания ложной информации обеспечивается формированием короткого аутентификатора от арифметически закодированной последовательности и его встраиванием в саму закодированную последовательность без использования дополнительных бит. В результате каждая закодированная последовательность является элементарной структурной единицей с наложенной на нее защитой, из которых в соответствии с выделенным лимитом битовой скорости с большой гибкостью может быть сформирован выходной поток для записи в бортовой накопитель и/или для выдачи в канал с переменными параметрами с возможностью адаптации по скорости передачи. На приемной стороне

получатель формирует оценку подлинности каждого фрагмента изображения с допустимой вероятностью необнаружения навязывания ложной информации в возможном диапазоне значений $10^{-5} \dots 10^{-12}$, при этом обеспечивается различение атаки нарушителя от ситуации воздействия ошибок канала передачи.

В алгоритме сжатия и защиты цифровых изображений по сравнению с видео отсутствует этап дискретного косинусного преобразования, а также для получения изображений повышенного качества видимого и ИК диапазонов число уровней двумерного дискретного вейвлет преобразования может быть увеличено.

За счет использованных технических решений удалось повысить помехоустойчивость передачи сжатых видовых данных: при вероятности ошибки на бит в канале передачи порядка 10^{-4} качество принятых видео данных и цифровых изображений остается приемлемым, причем ошибки передачи не приводят к отказу от декодирования оставшейся части кадра.

Для повышения устойчивости к ошибкам передачи вплоть до $5 \cdot 10^{-2} \dots 10^{-2}$ предусмотрен режим встроенного помехоустойчивого кодирования с возможностью адаптивного изменения скорости кода. Особенностью является реализация совместного арифметического и помехоустойчивого кодирования на передающей стороне и совместного арифметического и помехоустойчивого декодирования на приеме, позволяющих встроить помехозащиту за счет рационального использования избыточности кодируемых данных без существенной потери коэффициента сжатия, причем подавляющая часть вычислительной сложности обработки приходится на приемную сторону.

Бортовая часть аппаратно реализована на ПЛИС Kintex 7, приемная часть - программно на типовых 4(8)-ядерных процессорах общего применения с возможностью ускорения на графических вычислителях CUDA. Используемые технические решения позволяют наращивать число одновременно обрабатываемых потоков (до 4 видео с параметрами не менее Full HD 1080p и до 4 фото с размером кадра не менее 25 Мпикселей каждый), с возможностью модернизации и добавления операций обработки и защиты.

А.Г. ДЕМИДЕНКО, кандидат технических наук,
заместитель генерального директора по научной
работе ЗАО КБ «Панорама» (г. Москва)
Д.А. ОСИПОВ, инженер-программист ЗАО КБ
«Панорама» (г. Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС «ОПЕРАТОР» В КОМПЛЕКСАХ С БЛА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Геоинформационное обеспечение включает сбор, обработку, хранение и доведение до потребителей изображений и описаний местности, геодезических и гидрометеорологических данных в виде графических, текстовых, цифровых и фотодокументов. Объемы и разнообразие таких документов, содержащих информацию о местности, состоянии атмосферы и космического пространства, зависят от масштаба использования военной силы и территории вооруженного конфликта. В США обеспечивают создание и использование более 300 видов геоинформационных документов.

Цифровая информация о местности используется штабами и личным составом вооруженных сил в автоматизированных системах управления войсками, системах навигации, средствах боевого поражения при наведении на цель и в тренажерах, включая:

- точные геодезические данные для определения координат целей и навигации;

- цифровые данные о высотах местности для планирования наземных и воздушных операций;

- информация о местности для анализа местоположения целей;

- гравиметрические данные для планирования пуска ракет и расчета траекторий полета,

- цифровые базы данных для анализа местности в тактическом звене управления;

- детальная цифровая информация с опорными данными для систем планирования и управления, моделирования боевых действий и обучения;

- копии цифровых документов на твердой основе (фотодокументов, топографических и специальных карт);

- метеорологические данные.

Все эти сведения должны интегрироваться на базе единой картографической основы.

Единая картографическая основа

Единая картографическая основа (ЕКО) предназначена для формирования в войсках, штабах, управлениях единого информационного пространства для визуа-

лизации информации о местности и текущей обстановке. ЕКО может быть сформирована на основе снимков местности, цифровых топографических карт или их комбинации. Цифровая ЕКО должна включать разномасштабную информацию о местности, соответствовать всем требованиям по точности и составу отображения объектов.

ЕКО должна охватывать весь земной шар. Очевидно, что цифровые данные о местности всего масштабного ряда, охватывающие большую территорию будут занимать значительные объемы дисковой и оперативной памяти компьютера. В тоже время на экране одновременно можно просматривать довольно ограниченную территорию, или сильно генерализированную информацию. Для удобства использования больших объемов цифровой информации о местности применяется технология тайловых геопокровтий.

Мультимасштабная ЕКО

КБ "Панорама" реализована технология автоматизированного формирования и актуализации мультимасштабной единой картографической основы. Для формирования цифровой ЕКО используются обзорно-географические и цифровые топографические карты различных масштабов. Карты каждого масштаба объединяются в единое геопокровтие, а геопокровтия в электронный мультимасштабный атлас.

Специальные программные средства обеспечивают заблаговременное либо оперативное формирование тайлов для различных уровней отображения ЕКО, При этом используются цифровые карты наиболее подходящего масштаба.

Варианты геопокровтий

По аналогичной технологии сформированы тайловые геопокровтия популярных сервисов Yandex, Google, Open Street Maps и прочие. Для хранения больших объемов данных компании разворачивают мощные сервера, обеспечивающие выдачу данных большому количеству клиентов. Такие сервера принято называть облаком данных. Применение единых протоколов предоставления данных позволяет формировать запросы на получение сведений из облака любому приложению, поддерживающему такие протоколы.

В ГИС «Оператор» встроены средства подключения к удаленным информационным ресурсам в различных облаках данных.

Автономное использование геопокровтий

При наличии доступа к сети Интернет, ГИС "Оператор" обеспечивает кэширование данных из внешних геопорталов на компьютер пользователя, для ускорения отображения карты при повторных обращениях к одним и тем же участкам местности. Эта возможность может быть использована для заблаговременного сохранения изображений на компьютер пользователя с целью автономного использования сведений из облака данных при отсутствии доступа к сети Интернет.

ЕКО ВС РФ

На основе обзорно-географических и топографических карт, созданных ВТС ВС РФ в НЦУО ВС РФ сформирована единая картографическая основа для НЦУО РФ. ЕКО представлено мультимасштабным тайловым геопокрытием и может быть использована в комплексах БЛА для обзорного ориентирования на местности, формирования маршрутов перемещения комплексов и маршрутов полетов БЛА.

Граф дорог

Для построения маршрутов следования в ГИС "Оператор" встроены средства анализа специальной цифровой карты – граф дорог. Модель граф дорог создается заблаговременно на основе цифровых топографических или навигационных карт. Граф дорог учитывает класс дороги, ширину дорожного покрытия, скорость движения, односторонние участки и запреты (проезд, поворот, разворот и пр.). На основе графа дорог обеспечивается построение маршрутов следования от пункта к пункту или маршрут объезда нескольких пунктов – задача коммивояжера.

Использование ГНСС для маршрутизации

В ГИС "Оператор" встроены средства отображения текущего местоположения на основании сведений поступающих от подключенного к компьютеру ГЛОНАСС приемника. Программа получает данные по протоколу NMEA и отображает местоположение на неподвижной карте (движется объект) или на подвижной карте (аналог автомобильного навигатора). Текущее местоположение может быть сохранено в виде путевых точек или треков движения для последующего анализа.

Использование ГНСС для оперативной обработки снимков с БЛА

Фотоматериалы, поступающие с БЛА, имеют пространственную привязку, на основе аппаратуры ГНСС, установленной на летательном аппарате. Сведения о координатах центра фотографирования, скорости и курсе используются в ГИС "Оператор" для "грубой" пространственной привязки снимков и формирования так называемого "накидного монтажа". В рамках единого окна карты изображения отдельных снимков с БЛА накладываются на изображение ЕКО и позволяют оперативно оценивать местности, получать и обрабатывать разведывательные данные.

Анализ разновременных данных

Для анализа изменений местности, путем сравнения архивных данных и оперативно, получаемых с БЛА в ГИС "Оператор" встроено режим "Шторка растра". Данный режим позволят визуально оценивать изменения местности на двух разновременных снимках. Изображение карты на экране компьютера разбивается на две области, разделенных вертикальной линией. Слева выводится изображение одного снимка, а справа другого. При перемещении манипулятора мышью, можно изменять размеры отображаемой области левого или правого снимков, для того чтобы оценить состояние местности до и после съемки.

Умные знаки

При выявлении изменений пользователь может оперативно оцифровать выявленные изменения. Для векторизации объектов оперативно-тактической обстановки в ГИС "Оператор" включена библиотека условных знаков, соответствующая КЭУЗ 2012 – цифровой классификатор карты operator.rsc. КЭУЗ 2012 включает более 20 000 условных обозначений. Реализованная в ГИС "Оператор" технология «Умные знаки» позволяет управлять внешним видом объекта при смене значений семантики (атрибутов). За счет этого сокращено количество объектов в классификаторе. Так в ГИС «Интеграция» требуется около 20 000 знаков, а в ГИС «Оператор» – около 2 000.

Использование ортофотопланов в ГИС «Оператор»

Для векторизации объектов может быть использовано изображение "накидного монтажа", или данные из внешнего геопортала. Однако точность таких данных недостаточна для решения расчетных и информационно-аналитических задач. Для этих целей должны применяться ортофотопланы. Существующие фотограмметрические комплексы ФОТОМОД и ФОТОСКАН позволяют оперативно создавать цифровые ортофотопланы и матрицы высот рельефа по снимкам с БЛА. ГИС "Оператор" интегрирован с этими комплексами в части комплексного использования ортофотопланов и матрицы высот рельефа.

Ортофотопланы в формате GeoTIFF открываются в среде ГИС «Оператор» с автоматической привязкой к местности. При этом программа «на лету» перепроецирует ортофотоплан при добавлении внешних геопорталов.

При укрупнении масштаба экранного изображения хорошо видна разница в детальности изображений с БЛА и с космических снимков.

Использование ортофотопланов и матриц в ГИС «Оператор»

Комплексное использование ортофотопланов и матрицы высот рельефа позволяет синтезировать в среде ГИС "Оператор" изображение местности отображающее формы рельефа совместно с изображением местности.

Синтезированное изображение в ГИС «Оператор»

Синтезированное изображение в ГИС Оператор позволяет более наглядно оценивать местность. По нему проще выполнять операции векторизации и дешифрирование элементов местности.

Прикладные задачи на основе 3D-изображения

Комплексная модель (ортофотоплан + матрица высот рельефа) может быть использована для решения расчетных и информационно-аналитических задач. Популярный режим «Построение зон видимости» обеспечивает формирование в указанном пользователем секторе расчет видимости точки местности относительно

точки наблюдения и графическое отображение на фоне ортофотоплана невидимых участков.

Способность привязывать операционные районы в трехмерном пространстве обеспечивает моделирование с целью учета виртуальной реальности и является необходимым условием для эффективной подготовки огневых средств к выполнению сложных задач.

ГИС «Оператор» обеспечивает вариативное построение зон видимости, например для выбора наилучшей позиции огневой точки. Так незначительная корректировка местоположения наблюдателя позволяет получить максимальную зону обзора.

Прикладные задачи с использованием МВР

На основе матрицы высот рельефа в ГИС "Оператор" выполняется построение профилей, расчет уклонов местности и построение зон проходимости вне дорог с учетом рельефа.

Точное цифровое моделирование высот позволяет летать на малых высотах над полем боя, использовать маскирующие и демаскирующие свойства местности в своих интересах и решать инженерные задачи.

Обработка видеофайлов с БЛА

На БЛА кроме фотоаппаратуры может быть установлена видео аппаратура. ГИС «Оператор» обеспечивает оперативную обработку видеофайлов, включая:

формирование трека движения БЛА;

просмотр видеоизображения синхронно с отображением местоположения БЛА на карте;

просмотр кадра изображения для точки на треке.

Оперативные отчеты

Для гарантированной победы необходимо достичь над противником так называемого информационного превосходства, что позволяет упредить его в оценке быстро меняющейся обстановки на поле боя, принятии правильного решения и планировании хода боевых действий. Для описания текущей боевой обстановки с применением БЛА в ГИС «Оператор» встроены режимы оперативного дешифрирования выявленных позиций противники или иных зон интереса и формирования по этим данным отчетных документов.

При выявлении на аэрофотоснимках, полученных с БЛА или иных источников, объектов интереса, оператор указывает на карте ограничивающий данный объект прямоугольник. Метрическое описание объекта интереса сопровождается текстовым комментарием. Затем, по выделенным на карте объектам – зонам интереса, формируется текстовый отчет. Для заполнения титульной части документа в диалоге вводятся сведения о воинской части, районе боевых действий, ФИО должностного лица и сведениях о снимке на котором выявлены объекты. Формирование

отчета производится в автоматическом режиме, на основе существующего шаблона.

Заключение

Процесс геоинформационного обеспечения является непрерывным, что обусловлено постоянным изменением погодных условий и местности из-за воздействия на них как человека, так и природных явлений. Кроме того, на объемы и качественные характеристики этого обеспечения влияет развитие техники, а также совершенствование военного искусства.

На данном этапе развития необходимо ввести новые типы геоинформационного обеспечения, включая:

тайловое геопокрытие на основе цифровых карт;

тайловое геопокрытие на основе космических снимков;

цифровая матрица высот рельефа;

цифровая модель граф дорог;

база данных о местности на основе данных из открытых источников

На основании всей полноты цифровой информации о местности должна формироваться библиотека информации министерства обороны. Такая библиотека обеспечивает доступ к военным и невоенным сведениям о местности, атмосфере, Мировом океане и ближнем космическом пространстве через многочисленные узлы компьютерной сети, что крайне необходимо для принятия государственных и оборонных решений. Она может использоваться также для учебных целей, ознакомления с обстановкой и ее анализа на основе полученной информации путем моделирования ситуаций.

Ю.Н. ОСИПОВ, кандидат военных наук,
профессор, вед. научный сотрудник НИЦ Р ФГБУ
ВНИИПО МЧС России

В.И. ЕРШОВ, кандидат военных наук, доцент, ст.
научный сотрудник НИЦ Р ФГБУ ВНИИПО МЧС
России

А.В. ИВАНОВ, начальник НИО разработки
авиационно-спасательных технологий НИЦ Р
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА И ОСНАЩЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЛА

В практической деятельности лиц, участвующих в выработке решений по внедрению робототехнических средств (РТС), возникает естественный вопрос о том, насколько рациональным является применение того или иного типа комплексов с БЛА при выполнении стоящих задач. Обычно об этом судят по результатам оценки некоторого его свойства, называемого эффективностью. Однако, эффективность, являясь одним из общепринятых понятий, не имеет пока единого общепризнанного определения.

В соответствии с сутью изложенной постановки вопроса под эффективностью комплексов с БЛА будем понимать некоторое их свойство, которое характеризует то, насколько рациональным является их применение в той или иной ситуации.

В изложенных ниже положениях по рассматриваемой проблематике учитывались результаты анализа подходов к оценке эффективности, представленных в ряде научных разработок [1, 2, 3, 4 и других].

Рациональность применения комплексов с БЛА, как и любого робототехнического средства, определяется двумя основными факторами:

результативностью – возможностями по достижению результатов применения комплекса, определяющих сам факт выполнения стоящей задачи;

затратностью ресурсов – свойством, характеризующим то, насколько экономично использованы ресурсы при выполнении этой задачи.

Для оценки эффективности, естественно, используются соответствующие величины, называемые показателями эффективности комплексов с БЛА. Следует отметить, что эффективность комплексов с БЛА в общем случае оценивается не одиночной величиной, а множеством показателей, так как и факт выполнения пожаротушения или аварийно-спасательной работы, а также затраты имеющихся ресурсов характеризуются множеством показателей и условий. Набор этих показателей формируется для каждого случая применения комплексов путем отбора таковых из всего множества характеристик комплексов и их возможностей по выполнению стоящей задачи в соответствии с характером доминирующих факторов.

Следует так же иметь ввиду, что оценка эффективности комплексов с БЛА, в первую очередь, направлена на поиск наилучшей альтернативы из их определённого множества, в качестве элементов которого выступают разные типы или варианты исполнения комплекса. Целью же оценки является их ранжирование по рациональности использования в конкретной ситуации.

Таким образом, методический аппарат оценки эффективности комплексов с БЛА включает:

аппарат формирования системы показателей эффективности комплексов с БЛА и определения их значений для конкретного случая;

аппарат ранжирования комплексов с БЛА по их эффективности.

Формирование системы показателей эффективности является основным элементом многих подходов к решению вопроса по оценке эффективности любого объекта (технического, экономического, социального и др.). Далее приводится подход к формулированию системы показателей, который сформирован с использованием положений упомянутых разработок и, по мнению авторов, является рациональным для оценки эффективности противопожарных и аварийно-спасательных комплексов. При этом некоторые данные ранее названия, которые авторы сочли неудачными, переименованы.

Все показатели эффективности по виду (цели) оценки комплексов разделяются:

на показатели качества выполнения задачи (пожаротушения или аварийно-спасательных работ;

показатели технического уровня комплекса.

Показатели качества выполнения задачи характеризуют возможности комплекса и рациональность его применения в конкретной ситуации.

Показатели технического уровня характеризуют техническое совершенство комплекса. Они являются относительными характеристиками, несущими информацию о сравнении комплекса с наилучшими образцами.

Все показатели качества выполнения задач бывают частными и интегральными.

Частные показатели позволяют оценить свойство одной характерной стороны применения комплекса: функционирование одного вида оборудования или отдельной части комплекса, проведение отдельной операции в рамках аварийно-спасательной работы и т.д. В качестве частных показателей эффективности комплексов с БЛА выступают величины некоторых их возможностей и технических характеристик, имеющие отношение к оценке рациональности применения комплексов в конкретных условиях. Частные показатели определяются по результатам соответствующих испытаний или вычислений соответствующих возможностей.

Каждый частный показатель классифицируется по двум признакам:

по основным факторам рациональности применения комплексов с БЛА, относя его:

к показателям результативности

либо показателям затратности ресурсов;
по предметной стороне показателя, относя его:
к показателям результата;
показателям функциональности или
показателям компетентности специалистов.

Показатели результативности определяют степень реализации запланированной деятельности и достижения ожидаемых результатов. Показатели результативности являются базовыми показателями, как отдельных процессов, так и всей системы, определяющими целенаправленность, смысл функционирования комплекса, его основную задачу.

Показатели затратности отражают связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами, позволяют оценить различные пути достижения результата с учетом экономии ресурсов.

Показатели результата дают оценку деятельности, но не содержат данных о способах достижения цели и не позволяют судить о тенденции развития. Обычно к ним относятся величины, характеризующие: объем выполняемых работ, время выполнения задач, материальные потери, предотвращенный ущерб и другие результаты функционирования.

Показатели функциональности комплексов являются индикаторами тенденции развития результатов (например, производительность объекта), они обычно связаны с ключевыми факторами успеха. Показатели функциональности, в основном, имеют оперативный характер, позволяют диагностировать положительные и негативные тенденции развития, отражают влияние на будущие результаты. К ним относятся характеристики производительности комплексов с БЛА (скорость полета, скорость передачи данных, ...), надежности их работы, технологичности в отношении проведения оперативного ремонта при возможном повреждении от поражающих факторов, а также величины расхода ресурсов в единицу времени, затраченных на выполнение отдельных технологических операций или осуществление оперативного ремонта.

Показатели компетентности специалистов отражают способность руководящего состава и операторов комплексов к внедрению и реализации рациональных авиационных робототехнических технологий. Они могут быть представлены в виде вероятностей безошибочных действий специалистов и/или решений руководящего состава, выраженных посредством соответствующих коэффициентов и балльных величин при наличии правил (аппарата) их учета.

Интегральный – это показатель, объединяющий несколько частных посредством реализации различных математических методов. При формулировании интегральных показателей следует учитывать, что каждый из них должен иметь:

определенный, обоснованный физический или экономический смысл;
отношение к оценке рациональности комплексов с БЛА в исследуемой ситуации, при этом либо отражая отдельную вновь выявленную обобщенную сторону этого свойства, либо сокращая количество используемых частных показателей.

Примером распространенного интегрального показателя результативности является вероятность выполнения задачи. Этот показатель занимает особое место в оценке эффективности комплексов с БЛА, – во многих случаях он может быть единственным показателем результативности, объединяя все частные показатели, относящиеся к различным предметным сторонам. Зачастую вероятность выполнения задачи определяется с помощью усредненного аналитического выражения, например:

$$P_{вз} = k_{\text{такт}} k_{\Gamma} k_{\text{ор}} P_{\text{бр}} \prod_{i=1}^I k_{\text{рем } i} P_{\text{б}}(t_i) P_{\text{св}}(t_i),$$

где $k_{\text{такт}}$, k_{Γ} , $k_{\text{ор}}$, $k_{\text{рем}}$ – коэффициенты, учитывающие, соответственно, уровень тактической подготовки руководящего состава, готовности к выполнению задачи, оперативности работы, технологичности осуществления оперативного ремонта; $P_{\text{бр}}$, $P_{\text{б}}$, $P_{\text{св}}$ – вероятности, соответственно, безотказной работы комплекса, безошибочного и своевременного выполнения оператором i -той операции за время t_i ($i = 1, \dots, I$).

Наиболее правдоподобное значение этого показателя может быть получено при использовании имитационной стохастической математической модели функционирования комплекса. Имитационное моделирование – это исследование с использованием численных методов, проводимое на вычислительных машинах с математическим аналогом комплекса (математической моделью) – математическим описанием функционирования комплекса при детализации поведения всех основных его элементов. Отдельному математическому описанию подлежат все основные технологические операции, оказывающие, по мнению исследователя, какое либо влияние на конечный результат. При стохастическом исследовании осуществляется моделирование случайных явлений путем генерирования случайных величин, характеризующих стохастические процессы, с параметрами их фактических распределений. Результаты моделирования определяются посредством статистической обработки результатов множества реализаций процесса моделирования.

С помощью этой же модели могут определяться и другие, имеющие отношение к оценке эффективности ППК и АСК величины, например, такие, как математическое ожидание материальных потерь или максимальные материальные потери, которые не будут превышены с заданной гарантийной вероятностью, и другие им подобные.

Показатели технического уровня комплексов с БЛА представляют собой систему показателей, являющихся характеристиками технического совершенства. Эти показатели являются относительной характеристикой, несут информацию о сравнении комплекса с другими, в некотором смысле, наилучшими образцами. По глубине внедрения технических достижений их условно можно разделить на две группы:

показатели, являющиеся мерой использования достижений технического прогресса и характеризующие соответствие исследуемого комплекса лучшим мировым образцам;

показатели, являющиеся мерой использования передовых технических решений, доступных в сложившихся условиях и применяемых для улучшения свойств комплексов.

Обычно эти показатели отражают результаты сравнительной оценки модернизированных комплексов с базовыми образцами.

Показатели обеих групп классифицируются в соответствии с тем же признаками, что и показатели качества выполнения задач. При этом они являются относительными, чаще всего, представленными в виде отношений величин характеристик оцениваемого и базового комплексов. Однако не исключается и другие виды сравнительной информации, например, предлагаемые в работе [4] для сравнения робототехнических систем с экипажными.

Обычное стремление лиц, принимающих решение на разработку, внедрение или непосредственное применение комплексов с БЛА, заключается в попытке формулирования одного глобального показателя эффективности, в соответствии с величиной которого и осуществляется ранжирование альтернатив. Однако следует отметить, что это сделать можно лишь в тех редких случаях, когда для конкретных условий в качестве такового можно использовать один из частных или обоснованных интегральных показателей с ранее описанными свойствами. В общем же случае сформулировать глобальный показатель не удастся.

В таких случаях применяются математические методы многокритериальной оценки, поддерживаемые использованием методов экспертного оценивания и обработки экспертной информации.

ВЫВОДЫ

Под эффективностью комплексов с БЛА будем понимать некоторое его свойство, которое характеризует то, насколько рациональным является его применение при выполнении аварийно-спасательных работ в той или иной ситуации.

Оценка эффективности комплексов с БЛА включает следующие основные операции:

формирование системы показателей эффективности комплекса из множества его характеристик и нахождение значений этих показателей;

представления аппарата ранжирования альтернатив (вариантов исполнения комплексов с БЛА) и его реализация.

Система показателей эффективности включает ряд частных и интегральных показателей, последние из которых объединяют несколько частных и имеют определенный физический смысл.

Каждый частный показатель относится к одной из групп, каждая из которых характеризуется тремя признаками: видом оценки комплексов; фактором, определяющим рациональность применения комплекса; предметной стороной показателя.

Решение вопроса о том, какие именно характеристики комплексов с БЛА целесообразно представлять в качестве показателей его эффективности, зависит от сути принимаемого решения, в интересах которого осуществляется оценка эффективности комплекса, и складывающихся условий.

Ранжирование типов комплексов или вариантов исполнения комплекса производится на основе сравнения значений глобального показателя, если таковой обоснованно выбран из множества сформированных показателей, а в противном случае (что на практике обычно имеет место) – на основе применения математических методов многокритериальной оценки, поддерживаемых использованием методов экспертного оценивания и обработки экспертной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Октябрьский П.Я. Статистика эффективности промышленного производства / П.Я. Октябрьский. – М.: Статистика, 1985. – 223 с.
2. Песьякова Т. Н. Классификация показателей эффективности промышленных комплексов [Текст] / Т. Н. Песьякова // Молодой ученый. – 2012. – №1. Т.1. – С. 139–141.
3. Андерсен, Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Б. Андерсен. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 340 с.
4. Северов Н.В. Развитие, технология и эффективность робототехники в чрезвычайных ситуациях. Часть 1: Монография / Северов Н.В. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 311 с.

МАЛЫЙ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ (ПЛАТФОРМА) С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Предлагается разработать летающую платформу – программно-аппаратный комплекс, для свободного перемещения полезной нагрузки в воздушном пространстве с высокой точностью и стабильностью в любом направлении полета в режиме управления оператором или автономно. Появившаяся относительно недавно возможность, создания электрических силовых установок, позволяет строить управляемые аппараты с параметрами близкими к аппаратам с ДВС, а применение электронных систем и алгоритмов управления по некоторым параметрам -превосходить их.

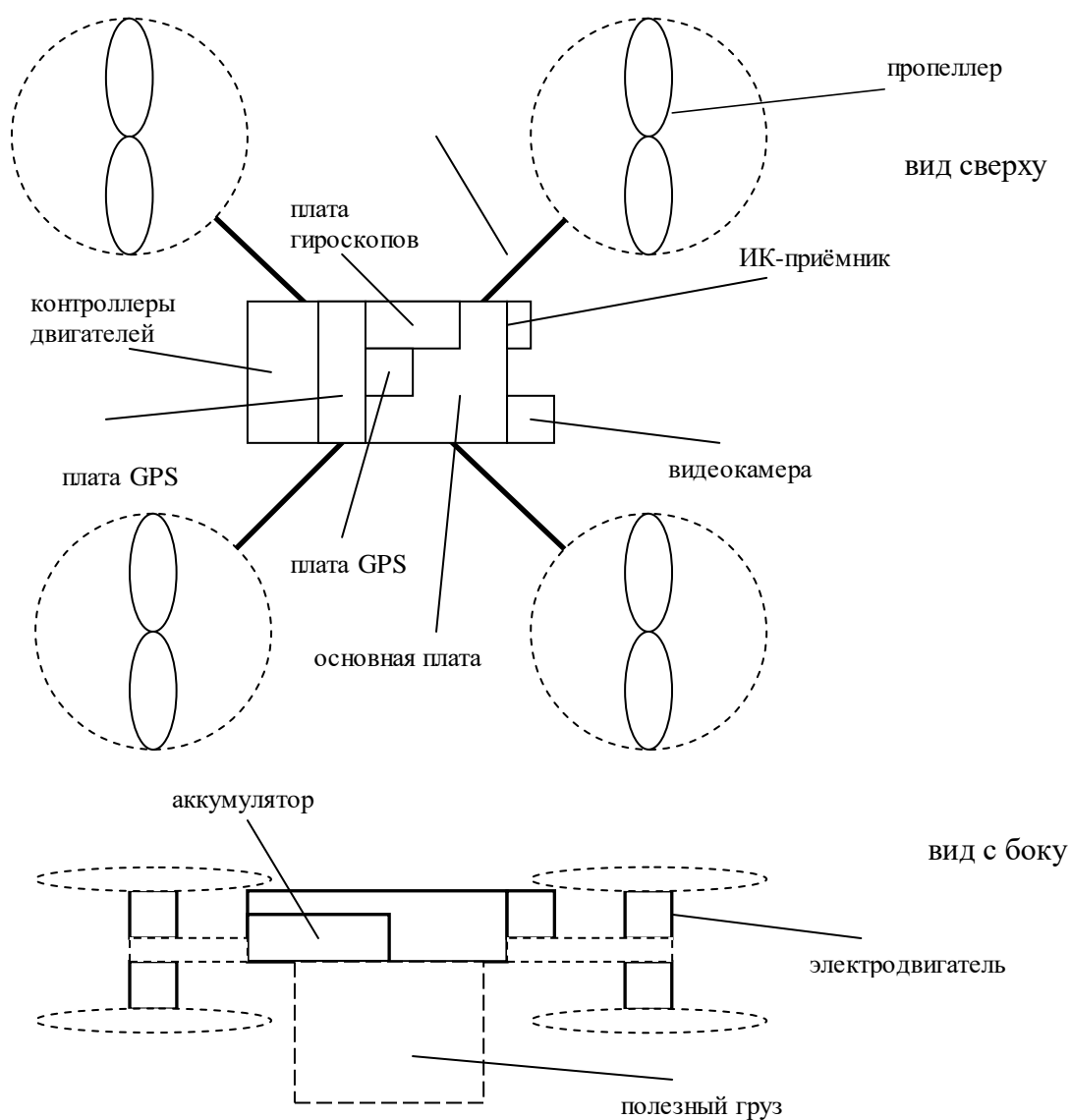


Рисунок 1 – Примерная компоновка аппарата

Отличительной особенностью предлагаемого к разработке образца от уже существующих является применение электрической силовой установки (аккумулятор бесколлекторные электродвигатели) и так же автоматических электронных систем и алгоритмов управления с использованием GPS. Что обеспечит высокую точность позиционирования, практически полную бесшумность и отсутствие выхлопных газов, как следствие малую заметность. Аппарат построен по вертолётной схеме, электродвигатели приводят в действие воздушные винты - пропеллеры и обладает свойством совершать взлёт и посадку по вертикали, зависать в воздухе и перемещаться в любом направлении. Электрические вертолёты значительно проще по конструкции (нет деталей трансмиссии), значительно легче в управлении (оператор управляет алгоритмами, а не двигателями непосредственно) и что не мало важно, дешевле по себестоимости и в эксплуатации чем вертолёты с ДВС.

Таблица 1 – Основные технические характеристики

		Существующие образцы	Предлагаемый к разработке
Габаритные размеры		600×600×300 мм	600×600×300 мм
Масса полная		до 3,5 кг	до 5 кг (и более*)
Грузоподъемность		до 1,5 кг	до 3 кг (и более*)
Скорость	горизонтальная	10-12 м/с	более 15 м/с до 40 м/с (самолётная схема)
	вертикальная	4-6 м/с	8-10 м/с до 20 м/с (самолётная схема)
Полетное время		до 25 минут	не менее 45 минут (до 2-3 часов и более*)
Силовая установка		электрическая (аккумулятор + электродвигатель)	электрическая (аккумулятор + электродвигатель)
Максимальная высота полета		400-500м	до 1000 м (опционно до 2,5 км)
Максимальное удаление от оператора		500-1000 м	до 10 км (и более при применении телеуправления или полета в автоматическом режиме)
Примерная себестоимость образца малой серии		5-6 тыс. \$	2-3 тыс. \$ (в зависимости от комплектации)

*при применении составных и перспективных аккумуляторов, а так же самолетного режима полета

Возможные применения разрабатываемой платформы:
 видео и фотосъёмка с воздуха;
 съёмка трудно и недоступных мест с близкого расстояния (опор мостов, мачт освещения, частей высотных кранов и т.п.);
 инспекция крыш и труб;

создание 3D-моделей поверхностей (позиционирование камеры осуществляется при помощи GPS);

МЧС и пожарные мероприятия, оперативная разведка вообще;

Имеется много других случаев, при которых снимки с воздуха, таких объектов как лесные и другие большие пожары, происшествия могут быть полезны для поддержки служб спасения и документирования нанесенного ущерба. Снабжение оперативной информацией подразделений занятых на тушениях. В случаях естественных или технологических катаклизмов, на территорию которых доступ людей ограничен в связи с пожаром, наводнением или землетрясением, платформа как любой беспилотный аппарат, способна нести видеокамеру, может быть использованы для проведения воздушной разведки, а так же помощи в обследовании и нахождении потерпевших, координации спасательных действий.

контроль популяций диких животных (является приоритетным направлением из-за отсутствия звука и запаха выхлопа);

контроль условий сельскохозяйственных угодий (полей).

Полетно-измерительная платформа.

В настоящее время реализована. Есть опытные образцы (высокая точность позиционирования и возможность автономного полёта позволяют обследовать территории небезопасные для человека):

обследование территорий с радиоактивным, химическим и иным загрязнением;

проведение радиофизических опытов;

проведение метеорологических исследований и измерений;

дистанционное определение координат предметов с высокой точностью (по GPS)

Строительство

В настоящее время реализована. Есть опытные образцы

Благодаря высокой точности позиционирования платформа может быть использована для протяжки первых тонких тросов, веревок и кабелей через реки, каньоны, на соседние здания, вышки, мосты, которые потом будут использованы для натяжения крепких мостовых тросов. Так же возможно значительно ускорить монтаж компьютерных сетей на высотных домах и между ними указанным выше способом.

Транспортировка небольших грузов

В настоящее время реализована. Есть опытные образцы

Полезные грузы, который может нести платформа (1-2 кг.) - еда, медицинские препараты и др. могут быть переправлены людям, доступ спасателей к которым ограничен, а использование вертолетов невозможно и опасно.

установка отражателей радаров и радиомаяков на лед для более легкого обнаружения льдин кораблями;

исследование кратеров вулканов и размещение сенсоров предупреждения об извержениях.

Контрольно-охранные мероприятия.

В настоящее время реализована. Есть опытные образцы

Одним из перспективных направлений развития предлагаемой платформы является использования её как базы для размещения на её борту комплекса наблюдения и вооружения. В таком исполнении аппарат способен выполнять функции охранника, наблюдателя или разведчика. Причём способного работать в автоматическом, при участии оператора в автоматизированном и ручном режиме.

Рассмотрим возможную организацию использования платформы для наблюдения и охраны складских территорий, рисунок 2. Охранник, изготовлен на базе разрабатываемой платформы, имеет на борту систему видео наблюдения (возможна установка инфракрасных камер), вооружение (например, электрошоковое), а так же систему связи и доступа к внешней базе данных. Он стартует с площадки для зарядки аккумуляторов и осуществляет регулярные или в заданное время, облёты территории по заданным траекториям. Движение по траектории контролируется с помощью системы GPS, маячкам, расположенным на территории или по видео картинке через алгоритмы распознавания изображений. Во время полёта, проходящего на высоте от 5 до 40-50 метров, происходит визуальное наблюдение за людьми и транспортными средствами на территории и за её пределами.

При этом государственные регистрационные знаки автомобилей, наблюдаемых охранником, проверяются через базу данных транспортных средств имеющих доступ на охраняемую территорию в режиме реального времени. После окончания рабочего времени охранник автоматически сокращает кол-во автомобильных номеров с допуском на территорию (например автомобиль директора, заместителя, тех. службы и службы вывоза отходов) и при выявлении нарушений выдаёт на пульт сигнал тревоги на пульт охраны.

Наличие бортового вооружения позволяет самостоятельно бороться с несанкционированным проникновением через периметр и обезвреживать нападающих до прибытия оперативной группы. Особо стоит подчеркнуть, что разрабатываемая платформа способна свободно перемещаться как снаружи, так и внутри зданий, в том числе по коридорам и лестничным клеткам.

Перспективные разработки.

При перспективном развитии направления возможно создание электрического силового агрегата для авиамodelей и беспилотных аппаратов малого класса соизмеримого и даже превосходящего по основным параметрам применяемые в настоящее время ДВС. Это обеспечивается значительны ростом характеристик аккумуляторных батарей и бесколлекторных электродвигателей. При использовании поплавков, какие используются и другими летательными аппаратами, возможен взлёт и посадка с поверхности водоёма.

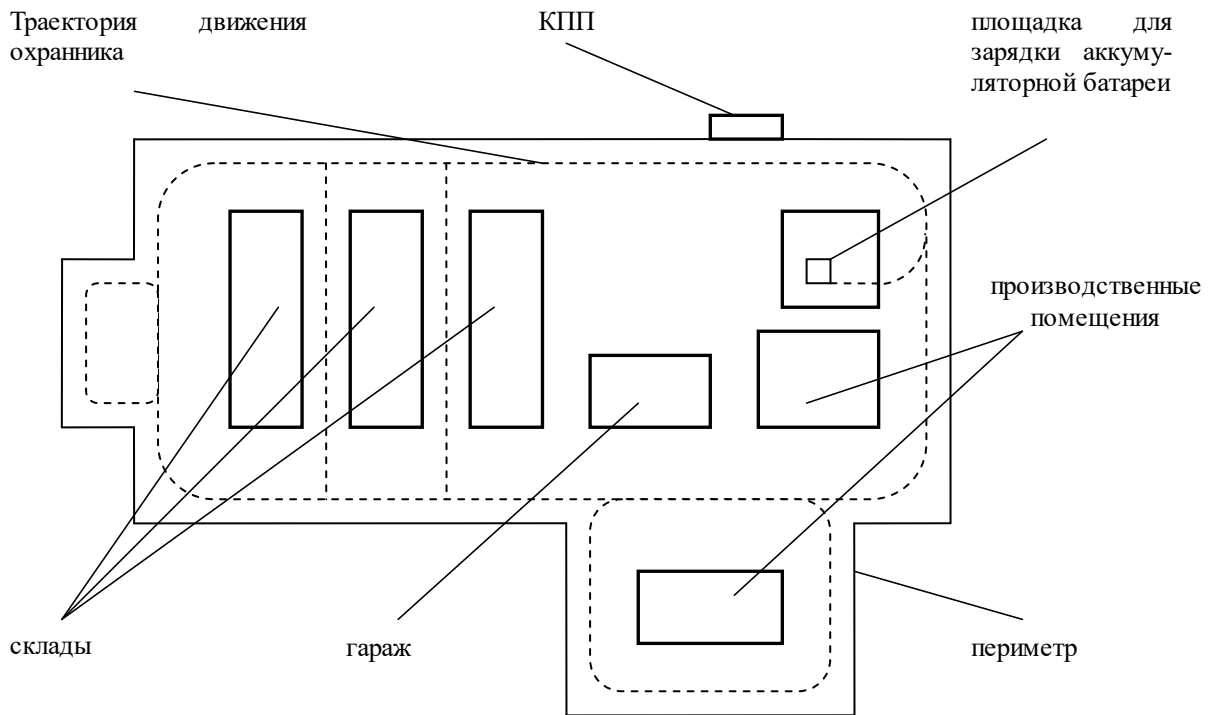


Рисунок 2 – Пример организации наблюдения и охраны складских территорий

Таким образом, проведение определённых видов работ, которые в настоящее время выполняются вертолётами или малой авиацией (дельталётами и дельтапланами), предлагаемым к разработке программно-аппаратным комплексом будет иметь в несколько десятков раз меньшую стоимость. В настоящее время в России существует ряд опытных образцов, которые только начинают находить коммерческое применение, в частности, в киноиндустрии.

Вперед балкой первого мотора	Вперед "развалом" между балкой первого и третьего моторов, классическая компоновка	Y-образная
Пример: 	Пример: 	Пример:

Рисунок 3 – Существующие на настоящий момент компоновочные схемы

Для повышения грузоподъемности, а так же для решения специальных задач возможно увеличения числа винтомоторных групп до 6 или 8. При этом не происходит усложнение конструкции т.к. каждая винтомоторная группа работает независимо. Применение вместе с этим нескольких аккумуляторов увеличит энерговооруженность и повысит надежность аппарата в целом. При применении самолетной схемы, когда аппарат взлетает, садится и выполняет специальные задания в вертикальном положении рисунок 4 (а), а перемещается от точки взлёта до точки их выполнения при помощи подъемной силы крыльев (как самолёт), горизонтальная скорость значительно возрастает до 100-150 км/ч, а потребление энергии уменьшается, рисунок 4 (б) (время полета возрастает до 2-3 часов).



а)



б)

Рисунок 4 – Режимы полета: а) вертолётный режим; б) самолётный режим

Использование данного режима является очень перспективным, так как позволяет увеличить скорость и время полета в несколько раз. При этом не происходит значительного усложнения конструкции.

А.А. ПЬЯННИКОВ, главный конструктор ООО
«ОКБ УЗГА» (г. Екатеринбург)

А.В. ИЗВОЛЬСКИЙ, начальник отдела ООО
«ОКБ УЗГА» (г. Екатеринбург)

ДООСНАЩЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ С БЛА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРОЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГНСС ГЛОНАСС/GPS С РЕАЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ. АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ТОПОПРИВЯЗКИ КОМПЛЕКСА С 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 спутниковой навигации GPS, ГЛОНАСС (в перспективе Galileo, BeiDou).

Для повышения точности навигационной информации до уровня, достаточного для реализации алгоритмов автоматического взлета и посадки с ВПП, применяются различные методы, основным из которых является режим дифференциальных определений.

Ошибка, возникающая при координатных определениях по сигналам ГЛОНАСС и других глобальных спутниковых систем навигации, составляет от нескольких метров до нескольких десятков метров и определяется такими факторами, как задержка распространения сигналов в атмосфере Земли, погрешности эфемеридно-временного обеспечения, многолучевой прием и т.д.

При работе в дифференциальном режиме приемник, называемый опорной станцией (ОС), проводит измерения радионавигационных параметров в точке с известными координатами, определяет погрешности этих измерений и на их основе формирует дифференциальные поправки (ДП), далее передаваемые мобильному приемнику. Мобильный навигационный приемник, работая в дифференциальном режиме, корректирует свои измерения поправками от ОС, принимаемыми по каналу передачи данных и, таким образом достигается значительное повышение точности измерений, и, как следствие, навигационного решения. Достижимый эффект зависит от удаления от опорной станции и на расстояниях до 100-200 км от нее позволяет повысить точности навигации до порядка 1 м и даже лучше.

Наиболее успешно могут подавляться за счет использования дифференциальных методов системные погрешности, а также погрешности, обусловленные эффектами распространения радиоволн. При небольших удалениях от опорной станции они могут быть подавлены практически до нуля.

Основные методы дифференциальных определений по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, способы организации дифференциального режима (ДР), принципы функционирования и практической реализации дифференциальных подсистем (ДПС) были разработаны и апробированы еще в середине 80-

х годов. По результатам этих работ выпущено несколько версий стандартов RTCM SC 104 (в том числе, действующая v. 2.3), широко используемых в навигации.

Для контроля качества формирования ДП и точности ДР для ответственных применений в месте размещения ОС обычно устанавливается дополнительный приемник, называемый станцией интегрального контроля (СИК). Будучи установлен в известной точке, он, работая в режиме дифференциальной навигации, контролирует качество координатных определений, что позволяет своевременно обнаруживать сбои в работе ОС и принимать соответствующие меры (переключаться на резервное оборудование, предупреждать потребителей о снижении точности и т.п.).

ООО «ОКБ УЗГА» совместно с АО «УЗГА» разработали комплекс спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS, осуществили дооснащение и испытания комплекса с БЛА средней дальности отечественной навигационной аппаратурой потребителей ГНСС ГЛОНАСС/GPS, функционирующей в дифференциальном режиме и обеспечивающей работу с ВТ кодом СНС ГЛОНАСС

Комплекс спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS предназначен для обеспечения системы управления беспилотным летательным аппаратом (БЛА) высокоточными навигационными решениями, позволяющие выполнять взлет и посадку БЛА легкого, среднего, тяжелого класса, а также БЛА вертолетного типа.

ТТХ Комплекса спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS:

Диапазон рабочих частот:

дифференциальный режим: ГЛОНАСС L1 (СТ – код, ВТ – код), GPS L1(C/A);

автономный режим: ГЛОНАСС L1/L2 (СТ – код, ВТ – код), GPS L1/L2(C/A);

возможность формирования, приема и обработки дифференциальных поправок;

автономный контроль целостности навигационного поля (RAIM);

темп выдачи навигационной информации 10 Гц;

темп формирования корректирующей информации 0,5 Гц;

предельная погрешность определения с доверительной вероятностью 0,95

ГЛОНАСС, GPS, ГЛОНАСС/GPS в автономном режиме:

плановых координат не более 15 м;

высоты не более 17 м;

скорости не более 0,5 м/с;

ГЛОНАСС, GPS, ГЛОНАСС/GPS в дифференциальном режиме:

плановых координат не более 1,5 м;

высоты не более 2 м;

скорости не более 0,5 м/с;

диапазон рабочих температур от минус 40 до +70 °С;

повышенная относительная влажность не более 98 %;

требуемая пропускная способность канала передачи данных от наземного к бортовому сегменту – не менее 3,0 кбит/с

ТТХ наземного сегмента:

потребляемая мощность 40 Вт;

напряжение питания АС 220В, 50Гц;

габариты 482,6x286x132,5 мм (19", 3U);

масса 6 кг;

интерфейс сопряжения Ethernet (стандартно); RS-232/422/485 (опционально)

ТТХ бортового сегмента:

потребляемая мощность 60 Вт;

напряжение питания DC 12-36В;

габариты 212x155x203 мм;

масса 5 кг;

интерфейс сопряжения Ethernet, RS-232/422/485 (стандартно); CAN, ARINC-429, МКИО (опционально).

Навигационная система состоит из бортового и наземного сегментов. Структурная схема системы навигации представлена на рисунке 1.

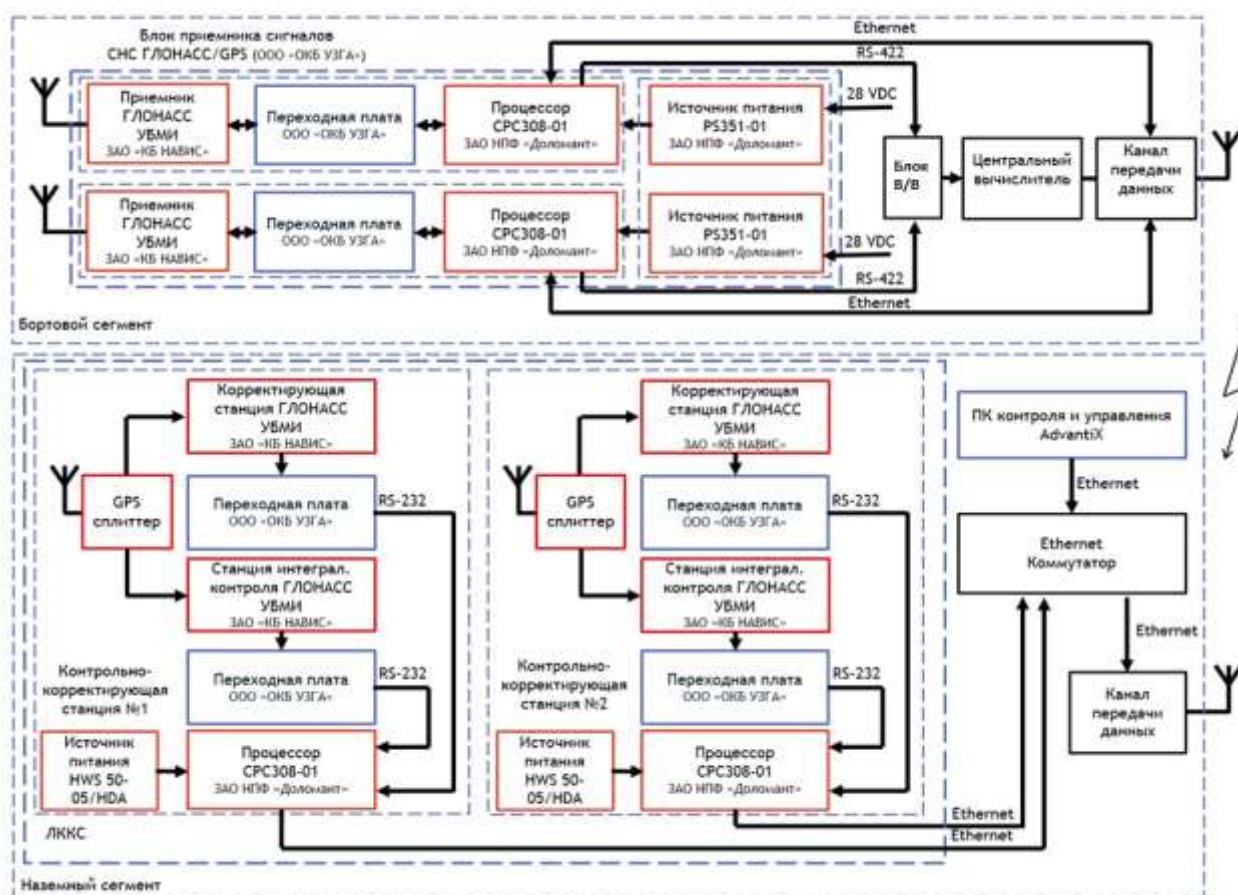


Рисунок 1 – Структурная схема навигационной системы ГЛОНАСС/GPS комплекса с БЛА

Бортовой сегмент представлен комплектом резервированных приемников и вычислителей, который учитывает в навигационном решении корректирующую информацию, формирует высокоточное решение и передает его по любому стандартному интерфейсу потребителям.

Внешний вид бортового приемника ГЛОНАСС/GPS приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид бортового приемника ГЛОНАСС/GPS

В целях резервирования бортовой приемник состоит из двух комплектов:
ГЛОНАСС/GPS приемник УБМИ ТДЦК.469335.014 (ЗАО «КБ Навис»), работающий в режиме «мобильного приемника»;
интерфейсная плата GLNS.00.02.100 (форм-фактор PC/104);
процессорный модуль CPC308-01 (форм-фактор PC/104);
источник питания PS351-01 (форм-фактор PC/104);
комплект кабелей и соединителей.

Каждый приемник получает через канал передачи данных два потока корректирующей информации UDP multicast (1 раз в 2 секунды на каждую из группировок ГЛОНАСС и GPS), осуществляет автоматический выбор между потоками корректирующей информации, выполняет расчет навигационного решения с учетом полученной корректирующей информации (темп выдачи 10 Гц), выполняет передачу навигационного решения по интерфейсу RS422 к центральному вычислителю БЛА.

Наземный сегмент представлен резервированной локальной контрольно-контролирующей станцией (ЛККС), предназначенной для формирования, оценки качества и передачи корректирующей информации для приемников БЛА через любой канал передачи «земля-борт». ЛККС с антенно-фидерными устройствами размещается на наземной станции управления (НСУ).

ЛККС формирует и контролирует качество корректирующей информации для группировок НКА ГЛОНАСС и GPS. Данная корректирующая информация поступает через канал передачи данных земля-борт на БЛА. Бортовые приемники при

решении навигационной задачи учитывают данную корректирующую информацию, тем самым повышая точность определения координат БЛА.

ЛККС разработана в виде 19” крейта (высота 3U, глубина 260 мм). Внешний вид ЛККС изображен на рисунке 3.

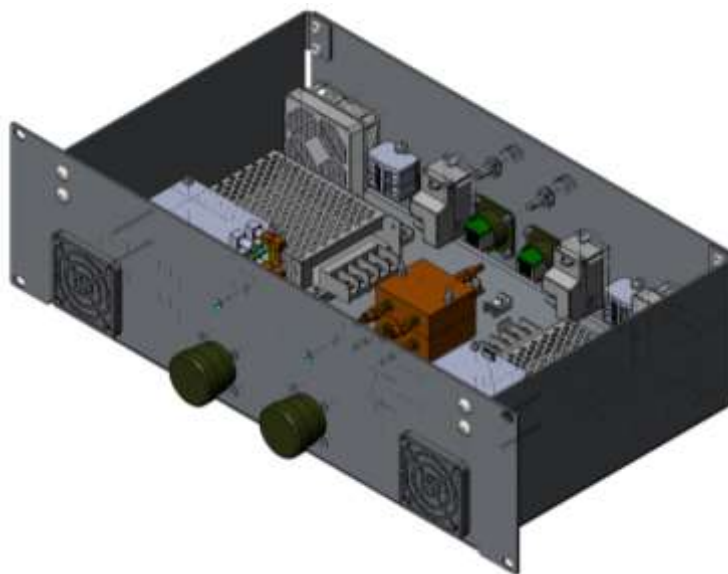


Рисунок 3 – Внешний вид ЛККС

В целях резервирования ЛККС состоит из двух идентичных полукомплектов: ГЛОНАСС/GPS приемник УБМИ ТДЦК.469335.014 (ЗАО «КБ Навис»), работающий в режиме «ОС» («опорная станция»);

ГЛОНАСС/GPS приемник УБМИ ТДЦК.469335.014 (ЗАО «КБ Навис»), работающий в режиме «СИК» («станция интегрального контроля»);

процессорный модуль СРС308-01 (форм-фактор РС/104);

СВЧ сплиттер;

источник питания;

комплект соединителей и кабелей.

Доставка корректирующей информации до потребителей на борт БЛА осуществляется по каналу передачи данных, интерфейс Ethernet, протокол UDP multicast. Занимаемая ширина канала 1,5 кбит/с для потока каждого полукомплекта ЛККС, суммарная ширина для резервированной системы 3,0 кбит/с в канале «земля-борт». Принципиально интерфейс Ethernet в бортовом и наземном сегментах для связи с аппаратурой передачи данных («земля-борт») значения не имеет и может быть различным: RS-232/422/485, CAN, ARNIC-429, МКИО.

Для настройки и контроля функционирования системы навигации в НСУ устанавливается вычислитель 19”, высота 2U со специализированным ПО. Данное ПО позволяет вводить опорные координаты для 2-х ОС, наблюдать за состоянием всех навигационных модулей системы (количество видимых спутников, уровни принимаемых сигналов, диагностика, внештатные ситуации и проч.) и управлять режимами их функционирования (выбор используемой спутниковой группировки, принудительное исключение определенных спутников из навигационного решения,

включение/отключение режима работы с кодом ВТ, включение/отключения дифференциального режима и проч.).

Отсутствие данного вычислителя не влияет на работоспособность системы. Потенциально, данное ПО может быть установлено на диагностическом мобильном ПК. Специализированное ПО функционирует под управлением ОС Astra Linux релиз «Смоленск».

ООО «ОКБ УЗГА» совместно с АО «УЗГА» планирует дооснастить комплекс спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS аппаратурой автономной топопривязки Комплекса с БЛА.

В ходе топопривязки выполняется привязка реперных точек Комплекса с БЛА (точка касания БЛА при посадке, границы ВПП, осевая линия ВПП, местоположение наземного терминала передачи данных, средств обеспечения резервных систем посадки и проч.) к координатам ОС (НСУ) с определенной погрешностью измерений.

Алгоритм топопривязки при перебазировании Комплекса с БЛА заключается в следующем:

определение координат опорной станции (НСУ) приемниками ЛККС в автономном режиме навигации, используя методы накопления и усреднения навигационных данных;

ввод усредненных координат в качестве опорных для ЛККС. Перевод приемников ЛККС в дифференциальный режим работы. Выдача дифференциальных поправок на радиомодем, установленный в НСУ для передачи в радиоэфир;

обход оператором реперных точек Комплекса с БЛА с мобильным навигационным приемником, который оснащен радиомодемом, получающим от ЛККС НСУ поток корректирующей информации.

выполняется получение плановых и высотных координат для всех необходимых реперных точек Комплекса.

ввод координат реперных точек в соответствующее оборудование и программное обеспечение НСУ для подготовки БЛА к полету.

Предлагаемый ООО «ОКБ УЗГА» комплекс спутниковой аппаратуры в составе бортового и наземного сегментов испытан, серийно поставляется в составе комплексов с БЛА средней дальности. На сегодняшний день он является единственным, обеспечивающим работу в диф. режиме и с ВТ кодом. Вследствие универсальности примененных технических решений он может использоваться в составе любых комплексов с БЛА, а также других робототехнических устройствах, требующих аналогичных характеристик.

С.Н. РАЗИНЬКОВ, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник НИИИ (РЭБ) ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)
Е.А. РЕШЕТНЯК, начальник отдела НИИИ (РЭБ) ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Для распознавания источников радиоизлучения (ИРИ) в сложной радиоэлектронной обстановке первостепенное значение приобретает задача их высокоточного местоопределения. С использованием координатной информации, инвариантной к изменению контрастности демаскирующих признаков [1], обеспечивается возможность анализа динамических состояний объектов при смене режимов работы, реализации мер маскировки и снижения заметности [2].

По результатам экспериментальных исследований и испытаний систем мониторинга с приемными постами на беспилотных летательных аппаратах (БЛА) малой дальности установлена существенная зависимость точности оценки координат ИРИ от способа местоопределения и траектории движения носителей обнаружителей-пеленгаторов сигналов.

При отношении сигнал/шум не менее 15 дБ на входе энергетического приемника на БЛА, совершающем полет по окружности в секторе углов засечки 120°, среднеквадратическая ошибка (СКО) определения местоположения генераторов стандартных сигналов (ГСС) в режиме непрерывного излучения на фиксированных частотах (ФЧ) лежит в пределах 4...10 % от дальности. На рисунке 1 приведен вид интерфейса автоматизированного рабочего места оператора при определении координат ГСС на частоте 252 МГц (а) и 445 МГц (б).

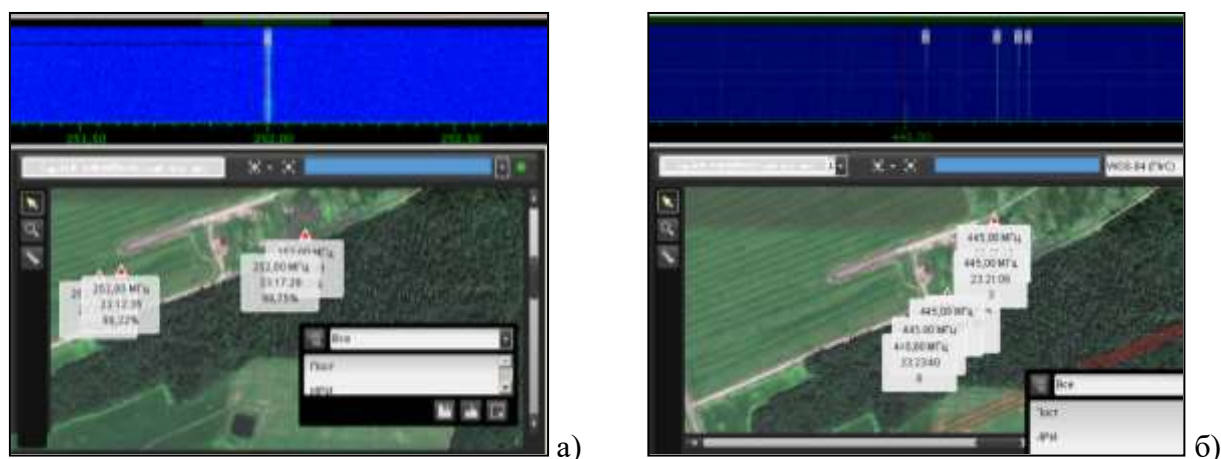


Рисунок 1 – Вид интерфейса автоматизированного рабочего места оператора при определении местоположения ГСС на частоте: а) 252 МГц; б) 445 МГц

Погрешность местоопределения базовых станций систем сотовой связи стандарта GSM-1800, размещенных в зоне барражирования БЛА с плотностью 0,2...0,3 км⁻², составляет 8...13% от дальности; для спутниковых абонентских терминалов Thuraya этот показатель достигает 10...15% от дальности. При отсутствии априорной информации о числе указанных типов ИРИ и расположении части из них на внешней стороне дуги, по которой выполняется полет БЛА, а также при ширине сектора углов засечки менее 60° осуществляется оценка местоположения центра поля засечек их координат, определяемая усредненным соотношением мощностей сигналов в точках приема.

Координаты радиостанций YAESU YX-110 и Midland CT-400, функционирующих на ФЧ в составе корреспондирующих пар с дистанцией связи 0,8...1,1 км, по результатам пеленгования на маршруте полета БЛА измерены быть не могут ввиду отсутствия пространственной селекции сигналов различных абонентов. По данным многократного пеленгования на маршруте полета оценивается положение центра поля засечек координат от двух ИРИ, определяемое соотношением длительностей их излучений и мощностей.

Из анализа приведенных результатов следует, что основными путями повышения эффективности местоопределения ИРИ в системах с БЛА являются:

комплексное использование различных способов местоопределения объектов для достижения требуемой точности при минимальном комплекте приемных постов;

нахождение маршрутов полета БЛА, при которых достигается наименьшая СКО оценки местоположения объектов.

В [3] показано, что местоопределение передатчиков сигналов большой длительности с характерными демаскирующими признаками [1] может выполняться на основе пеленгования с борта БЛА на маршруте движения [4]. Для оценки координат источников коротких импульсов и излучателей с малым набором параметров идентификации [1, 2] необходимо применять триангуляционный метод [5] при синхронном барражировании двух и более БЛА, оснащенных приемниками-пеленгаторами, в позиционных районах.

Направление движение одиночного БЛА в n -ом поворотном пункте маршрута (ППМ) будем задавать курсовым углом γ_n ; при перемещении мобильных пеленгаторных постов в составе триангуляционной системы на удалении d найденное значение γ_n выберем за направление движения центра пеленгационной базы. При расположении ИРИ в начале полярной системы координат (R, φ) курсовой угол $\hat{\gamma}_n$ должен удовлетворять критерию

$$\begin{cases} \hat{\gamma}_n = \arg \min_{\gamma_n} \sigma_R^2; \\ \gamma_n \neq \pi m, \end{cases} \quad n = 1, 2, 3 \dots, \quad m = 0, 1, 2 \quad (1)$$

где

$$\sigma_R^2 = \frac{\sigma_{\varphi n}^2 R_n^2 + \sigma_{\varphi(n+1)}^2 R_{n+1}^2}{\sin^2 \vartheta_n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

– дисперсия оценки местоположения излучателя, R_n и $\sigma_{\varphi n}$ – его удаление от одиночного БЛА (центра пеленгационной базы) и СКО измерения направления прихода сигнала в n –ом ППМ, ϑ_n – угловое расстояние между точками пеленгования, для которого выполняется условие [6]

$$\sin \vartheta_n = \frac{L}{R_{n+1}} \sin \gamma_n, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Второе уравнение в (1) исключает из рассмотрения направление движения БЛА непосредственно на ИРИ, поскольку его положение в пространстве априори неизвестно.

Решение (1) имеет вид

$$\hat{\gamma}_n = \pm \arccos \left(\frac{\beta_n - \sqrt{\beta_n^2 - 4}}{2} \right) + 2\pi m, \quad n = 1, 2, 3, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

где

$$\beta_n = \frac{(\sigma_{\varphi n}^2 + \sigma_{\varphi(n+1)}^2)\alpha_n^4 + (2\sigma_{\varphi n}^2 + 5\sigma_{\varphi(n+1)}^2)\alpha_n^2 + \sigma_{\varphi(n+1)}^2}{(\sigma_{\varphi n}^2 + 2\sigma_{\varphi(n+1)}^2)\alpha_n^3 + 2\sigma_{\varphi(n+1)}^2\alpha_n}, \quad n = 1, 2, 3, \quad (5)$$

α_n – отношение R_n к расстоянию между n –м и $(n+1)$ –м ППМ. Знак обратной тригонометрической функции и число m выбираются таким образом, чтобы угол γ_n принадлежал полупространству с вертикальной границей вдоль продольной строительной оси БЛА.

На рисунке 2а приведена траектория движения мобильного пеленгаторного поста относительно ИРИ на дальности $R_1 = 30$ км при СКО пеленгования сигналов $\sigma_{\varphi 1} = 10^\circ$ с тенденцией изменения точности последующий измерений $\sigma_{\varphi n}^2 / \sigma_{\varphi(n+1)}^2 = 2$, а на рисунке 2б – при $\sigma_{\varphi 1} = 1^\circ$ и $\sigma_{\varphi(n+1)}^2 / \sigma_{\varphi n}^2 = 2$, $n = 1, 2, 3 \dots$

Анализ результатов показывает, что наилучшая точность местоопределения ИРИ достигается при движении носителя пеленгатора по траектории в виде спирали. Изменение курсового угла, определяемое значениями дисперсии оценки угловых координат излучателя, возрастает относительно начального значения по мере уменьшения дальности. За счет повышения точности пеленгования при приближении к объекту сжатие спирали уменьшается. Протяженность маршрута полета БЛА на рисунке 2б превышает длину траектории движения на рисунке 2а примерно в 1,7 раз.

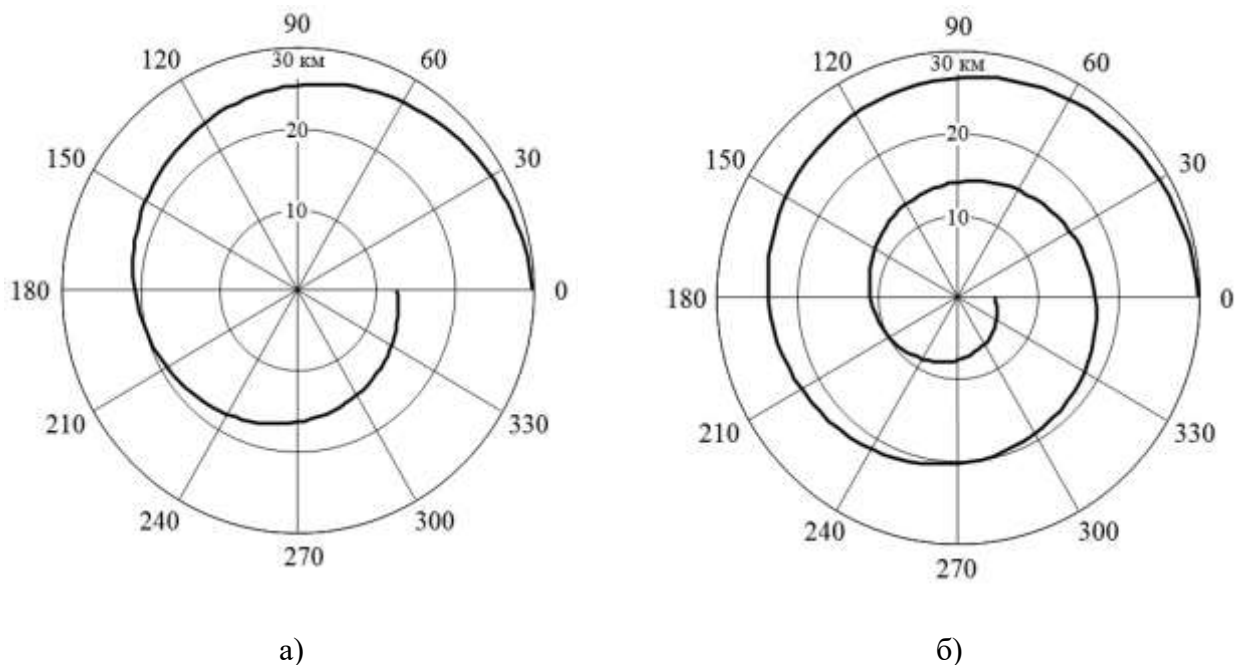


Рисунок 2 – Траектории движения БЛА при местоопределении ИРИ в условиях: а) возрастающей; б) убывающей точности оценки направления прихода сигналов

Установлено, что при равной точности пеленгования сигналов в каждом ПШМ траектория движения БЛА не зависит от $\sigma_{\varphi_n}^2$, $n = 1, 2, 3 \dots$, точность оценки местоположения ИРИ определяется дальностью до пеленгационного поста. За счет уменьшения СКО пеленгования сигналов с 10о до 1о протяженность маршрута полета БЛА сокращается в 1,4 раз.

На рисунке 3 а) представлены траектории движения БЛА при местоопределении ИРИ по оценкам его угловых координат с СКО $\sigma_{\varphi_n} = 10$ о в секторе углов

$$\varphi \in [0; 180^\circ) \text{ и } \sigma_{\varphi_n} = 10\text{о в секторе углов } \varphi \in [180^\circ; 360^\circ), n = 1, 2, 3 \dots,$$

а на рисунке 3 б) – результаты, полученные при $\sigma_{\varphi_n} = 10$ о в секторах углов $\varphi \in [0; 180^\circ)$ и $\sigma_{\varphi_n} = 10$ о в секторе углов $\varphi \in [180^\circ; 360^\circ)$ $n = 1, 2, 3 \dots$

Из анализа приведенных зависимостей следует, что траектория движения БЛА в значительной степени определяется дисперсией оценки угловых координат объекта в начальный момент времени. При этом, несмотря на различие точности измерений в секторах углов, для нее не характерна значительная асимметрия ввиду свойства спирали восстанавливать свою форму после воздействий [3, 6].

Для минимизации СКО триангуляционного (угломерного) местоопределения ИРИ пеленгационная база должна быть ориентирована перпендикулярно линии, вдоль которой измеряется дальность. При направлении движения центра базы в n -ом ПШМ, определяемом из (4), (5), курсовой угол k -го БЛА, $k = 1, 2$, должен соответствовать главному значению аргумента функции

$$\operatorname{ctg} \gamma_n^{(k)} = \pm \frac{1}{\sin(\vartheta_n + (-1)^{k+1} \Omega_n + (-1)^k \Omega_{n+1})} \cdot \frac{R_n \cos \Omega_{n+1} \pm R_{n+1} \cos \Omega_n}{\pm \operatorname{ctg}(\vartheta_n + (-1)^{k+1} \Omega_n + (-1)^k \Omega_{n+1})}, \quad (6)$$

где $\Omega_n = \operatorname{arctg}\left(\frac{d}{2R_n}\right) + \pi m$, $n = 1, 2, 3 \dots$, $m = 0, 1, 2 \dots$; знаки «-» и «+» пе-

ред функцией $\operatorname{ctg}(\dots)$ характеризуют траектории движения БЛА, смещенных относительно центра пеленгационной базы на $-d/2$ и $d/2$ соответственно.

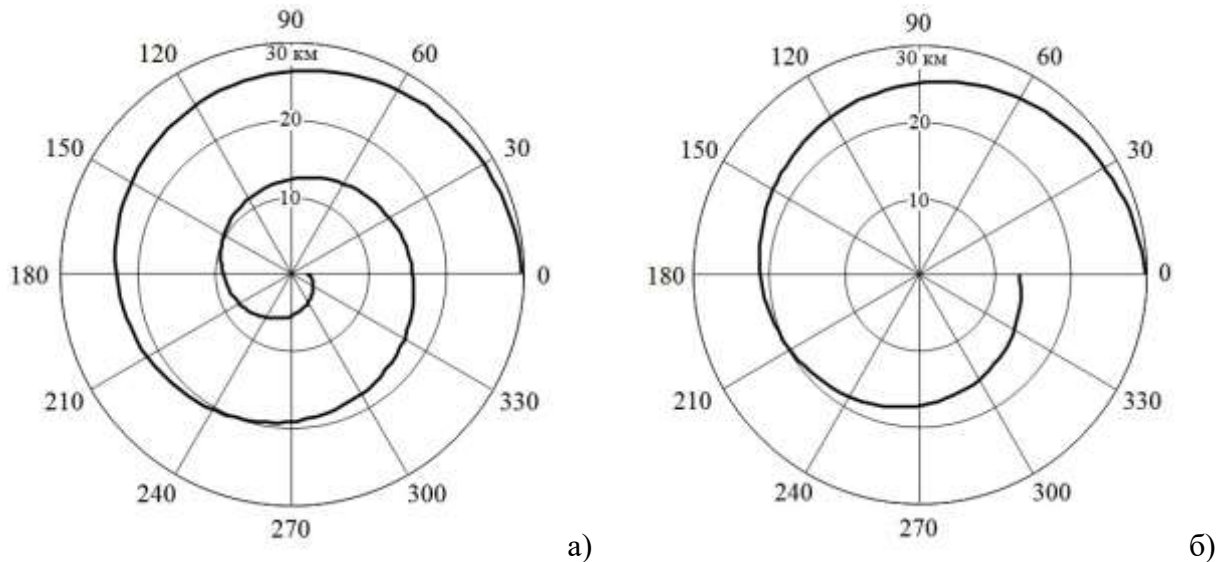


Рисунок 3 – Траектории движения БЛА при местоопределении ИРИ с СКО пеленгования

- а) $\sigma_{\varphi n} = 10$ в секторе углов $\varphi \in [0; 180^\circ)$ и $\sigma_{\varphi n} = 10$ в секторе углов $\varphi \in [180^\circ; 360^\circ)$;
 б) $\sigma_{\varphi n} = 10$ в секторе углов $\varphi \in [0; 180^\circ)$ и $\sigma_{\varphi n} = 10$ в секторе углов $\varphi \in [180^\circ; 360^\circ)$

На рисунке 4 приведены маршруты движения мобильных пеленгаторных постов при триангуляционном местоопределении излучателей с базой, при которой $\alpha_n = 10$ (а) и $\alpha_n = 5$ (б). Штриховой линией представлены траектории, построенные при выборе перед функцией $\operatorname{ctg}(\dots)$ знака «-», сплошной – знака «+».

Показано, что существенное различие траекторий движения пеленгаторных постов при постоянной и варьируемой пеленгационной базе наблюдается на значительном (свыше 10 км) удалении от ИРИ. По мере приближения к объекту влияние размеров базы на траектории движения БЛА, определяемые по критерию (1), снижается.

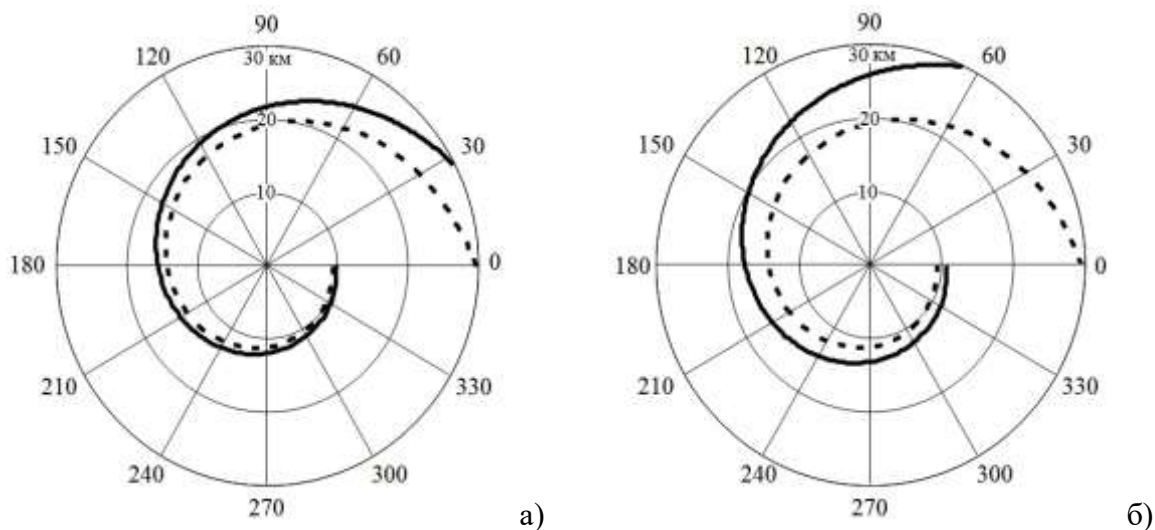


Рисунок 4 – Маршруты движения мобильных пеленгаторных постов триангуляционной системы с параметром: а) $\alpha_n = 10$; б) $\alpha_n = 5$

Таким образом, на основе анализа экспериментальных исследований и испытаний выявлены проблемные вопросы и по результатам моделирования маршрутов полета БЛА обоснованы пути повышения эффективности определения местоположения ИРИ в системах мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньшаков Ю.К. Теоретические основы технических разведок. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2008. – 536 с.
2. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: Радиотехника, 2004. – 432 с.
3. Разиньков С.Н., Богословский А.В. Оптимизация маршрутов полета беспилотных летательных аппаратов при местоопределении источника радиоизлучения по оценкам угловых координат с их бортов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2015. – Т. 18. – № 4. – С. 61-66.
4. Осипов Е.Б. Способ вывода летательного аппарата на радиоизлучающий объект с использованием оптимальной обработки результатов многократного пеленгования // Вестник Воронежского государственного технического университета. Сер. «Системы автоматизированного проектирования и системы автоматизации производства», 2003. – Вып. 3.3. – С. 21-25.
5. Кондратьев В.С., Котов А.В., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы / под ред. В.В. Цветнова. М.: Радио и связь, 1986 – 264 с.
6. Обнаружение, распознавание и определение параметров образов объектов. Методы и алгоритмы / под ред. А.В. Коренного. Москва: Радиотехника, 2012. – 112 с.

В.С. СВИЩО, кандидат технических наук, доцент,
заместитель начальника кафедры радиотехниче-
ских систем (и средств обеспечения полетов)
ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕНАЖЕЙ НА УНИФИЦИРОВАННОМ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ «ТРЕНИРОВКА»

Одним из приоритетных направлений в подготовки военнослужащих для эксплуатации сложных технических систем является применение в процессе обучения учебных тренировочных и тренажерных средств и совершенствование форм и методов обучения с их использованием.

Это обуславливается, прежде всего, наличием на вооружении войск современной, обладающей высокими боевыми качествами, оснащенной сложнейшими агрегатами, приборами и системами боевой и другой техники, освоение которой требует от личного состава глубоких знаний и твердых практических навыков при эксплуатации и в ходе боевого применения. Необходимую подготовку можно получить только при условии систематического проведения занятий и тренировок с использованием штатной боевой техники и оружия. Однако интенсивное ее использование в процессе обучения приводит к преждевременному износу данной техники и вооружения и снижению тем самым боевой готовности подразделений и воинских частей, на вооружении которых она состоит, а также влечет за собой значительные материальные затраты. Кроме того, непосредственно на боевой технике не всегда представляется возможным качественно обучать личный состав правильным действиям.

Учебно-тренировочный комплекс «Тренировка» позволяет подготовить операторов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) к самостоятельной работе на боевых комплексах и проводить тренировки по совершенствованию навыков эксплуатации и боевого применения БЛА. Данный учебно-тренировочный комплекс обеспечивает:

максимальное приближение рабочего места оператора БЛА реальным образцам техники;

возможность распределения сложных элементов управления БЛА на простые составляющие;

возможность документирования действий оператора и их разбора инструктором обучения (преподавателем);

возможность проведения тренировки в составе штатного боевого расчета БЛА;

возможность немедленной объективной оценки качества выполнения поставленной задачи;

возможность учебно-тренировочного комплекса моделировать обстановку, максимально приближенную к реальным условиям;

возможность корректировать поставленные задачи и изменять обстановку в процессе выполнения обучаемым поставленной задачи.

безопасность обучения и возможности обучаемому самостоятельно принимать решения при выполнении поставленной задачи;

допуск к выполнению тренировки только после изучения теоретического материала, с помощью входного контроля (контрольный опрос) в автоматизированном режиме;

сокращение расхода моторесурсов техники на обучение и уменьшение напряженности эксплуатации боевой техники, сокращение количества повреждений (поломок) и соответственно потребности в запасных частях, горючем и смазочных материалах.

Обучению на тренажере предшествует теоретическая подготовка, где изучаются возможности боевого комплекса, его устройство и правила эксплуатации. После сдачи комплексного зачёта по теоретической части обучаемые допускаются к работе на тренажере.

Подготовка специалистов на учебно-тренировочном комплексе БЛА проводится в 6 этапов. После каждого этапа выдается контрольное по результатам которого обучаемый получает допуск к переходу на следующий этап.

На первом этапе обучаемый изучает материальную часть тренажера и его соответствие реальному пункту управления БЛА. На этом этапе обучаемый изучает органы управления БЛА и возможности интерфейса по контролю и управлению комплексом БЛА. На тренаже обучаемый изменяет режимы работы комплекса, и изучает возможности управления полезной нагрузкой,

На втором этапе у обучаемого формируются начальные навыки управления БЛА с помощью тренажера. Обучаемый тренируется выполнять отдельные элементы полета БЛА (взлет, задание маршрута полета, полет по маршруту, изменение точек маршрута, распознавание типовых объектов на карте, привязку визуального изображения с камеры БЛА к карте на местности и. д.р.)

Третий этап подготовки предполагает выполнение простого полетного задания в качестве одного из членов расчета БЛА, при этом функции второго оператора выполняет руководитель занятия. Следует отметить, что на этом этапе оператор выполняет весь комплекс мероприятий необходимый для выполнения поставленной задачи от взлета, задание маршрута полета, полет по маршруту, изменение точек маршрута, до посадки. На этом этапе у обучаемого формируются первичные навыки самостоятельного управления.

На четвертом этапе отрабатываются навыки работы в составе расчета БЛА и закрепляются навыки самостоятельного управления БЛА. Руководитель занятия в большей степени уделяет внимание ведению переговоров между членами боевого расчета, но при этом контролирует правильность выполнения полетного задания.

Пятый этап обучения предполагает выполнение полетных заданий при появлении неисправностей в комплексе БЛА и предназначен для обучения операторов действовать в нестандартных ситуациях.

Заключительный этап подготовки операторов на тренажерном комплексе «Тренировка» предполагает обучение расчета БЛА по работе в составе нескольких боевых расчетов комплексов БЛА в интересах обеспечивающих подразделений. На этом этапе у обучаемых необходимо выработать навык ведения переговоров с другими пунктами управления в процессе боевой работы, и закрепить навыки сформированные на предыдущих этапах подготовки оператора.

Рассматриваемый учебно-тренажерный комплекс «Тренировка» отвечает следующим требованиям:

максимально обеспечивает наглядность и доступность в обучении;

эффективно используется учебное время

вызывает интерес и повышает активность личного состава в процессе обучения;

позволяет руководителю создавать в процессе занятий различные условия для действий обучаемых, требующие от них самостоятельности и практического применения ранее полученных знаний, умений и навыков;

осуществляет объективный контроль за действиями обучаемых и усвоением изучаемого ими материала;

выявляет ошибки, допускаемые обучаемыми, и недостаточно усвоенные вопросы;

является простыми по устройству, надежными в работе и долговечным;

обеспечивает полную безопасность обучаемых в ходе занятий.

Тренировки на УТ и ТС максимально облегчают освоение вооружения и военной техники в условиях, характерных для современного боя, путем выработки у обучаемых точных, координированных навыков в действиях при вооружении и с механизмами управления.

Занятия на УТ и ТС проводятся как в плановые часы занятий, так и во время самостоятельной подготовки путем выполнения учебных и подготовительных упражнений. В выходные дни организуются состязания по выполнению упражнений на тренажерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитрук, А.В. Методика подготовки и проведения занятий с использованием учебных тренировочных и тренажерных средств Учебно-методическое пособие. Гродно 2012 95С

2. Александров, Э.М., Ключников Ю.И. Практика организации воздушного движения при выполнении международных полетов СПб., 2003

3. Андреев, В.И. Педагогика. Учебный курс для творческого саморазвития. Центр инновационных технологий 2003г.

4. Зимняя, и.А. Педагогическая психология / И.А. Зимняя. – М.: Логос, 2004

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Робототехнические комплексы военного назначения являются сложными техническими устройствами с большим количеством составных частей и возможностей их реализации. Ввиду небольшого количества стоящих на вооружении образцов, а также затрат на их разработку, РТК ВН представляют собой достаточно дорогостоящие единицы. Вывод их из эксплуатации вследствие некомпетентности и низкого уровня профессионализма операторов может повлечь за собой тяжелые последствия. Помимо этого задачи, которые предстоит решать с использованием РТК ВН, не всегда сопряжены с нормальными климатическими условиями. К примеру, в настоящее время осуществляется активное освоение территорий арктического побережья Российской Федерации, что предусматривает строительство и развертывание военных баз для защиты от вторжения противника [5]. В связи с этим, применение РТК в экстремальных условиях накладывает определенный отпечаток на специфику подготовки высококвалифицированных специалистов.

Решить проблемы подготовки можно используя тренажеры, в которых воспроизводятся такие же условия работы оператора, какие имеют место на реальном объекте. В тренажерах на основе использования средств вычислительной техники осуществляется моделирование работы систем управляемого объекта, динамики его взаимодействия с внешней средой и объектами, которые находятся в этой среде и влияют на функционирование объекта, управляемого оператором. Результаты моделирования отображаются на приборных панелях, которые содержат такие же приборы, индикаторы и органы управления, как и реальный объект. Обучаемый оператор становится элементом контура моделирования. Его воздействия на органы управления передаются на вход модели объекта, и в результате воспроизводится такое поведение этого объекта, каким бы оно было в реальных условиях при таких же управляющих воздействиях [7].

Использование тренажеров более экономично, чем обучение на реальном объекте. Затраты на подготовку операторов движущихся объектов при использовании тренажеров снижаются ориентировочно в 8-10 раз. При использовании тренажеров снижается время обучения, расход ресурсов управляемых объектов, повышается безопасность. На тренажере можно многократно повторять особо сложные операции управления РТК ВН, в том числе, ситуации, которые невозможно или нежелательно воспроизводить на реальном объекте до полного освоения их обучающимся, при необходимости повторять их в замедленном или ускоренном темпе, осуществлять запись процесса выполнения упражнения и затем производить ана-

лиз каждого действия [6]. Все это значительно ускоряет процесс становления профессионализма операторов по сравнению с другими традиционными методами обучения.

Сами тренажеры являются сложными техническими системами, обладающими многочисленными возможностями, характеризующиеся множеством различных параметров [2]. ТК, используемые для подготовки операторов РТК ВН различаются по сложности, решаемым задачам обучения, техническим возможностям и т.д. В связи с массовостью подготовки операторов предлагается и уже имеется много различных предложений от разработчиков конкретных ТК, характеризующихся множеством свойств [7]. Возникает проблема сопоставления существующих ТК и оценки их качества [1]. Другой проблемой является предъявление обоснованных требований к перспективным ТК. Следует учитывать, чтобы ТК были адекватными, современными, обладали необходимыми свойствами, были на переднем рубеже науки и техники, но в то же время требования к разрабатываемым образцам должны быть реализуемыми.

Задача оценки качества ТК на сегодняшний день является актуальной. Результат проведенного анализа показывает, что существующие методы оценки качества ТК являются, как правило, частными и не имеют общего математического аппарата [6]. При этом, определение частных характеристик осуществляется не в комплексе, во многих методиках оценки доминирующее значение имеет степень субъективизма экспертов [2]. Не все современные ТК, используемые для подготовки операторов РТК ВН способны отобразить все многообразие факторов внешней среды [2,7]. Разработку и создание современных ТК необходимо осуществлять в условиях экономии и рационального распределения ресурсов. Создаваемый ТК должен быть способен имитировать все многообразие элементов подготовки операторов РТК ВН и иметь возможность доработки отдельных элементов. Существует необходимость выработки и систематизации показателей качества ТК, для решения задачи оценки и повышения качества ТК.

Выявленные противоречия и перечисленные недостатки показывают необходимость разработки информационно-математического, позволяющего избежать доминирующего значения субъективизма при оценке и определении направлений повышения качества ТК. В работах авторов [1,4,6] задача разработки необходимого ИМО частично решена. На основе методологии АСФ [3,8,9] разработан комплекс математических моделей, позволяющих решать задачу оценки и повышения качества ТК. Для эффективного использования разработанных математических моделей предлагается алгоритм оценки и определения направлений повышения качества ТК на основе разработанного комплекса математических моделей.

Оценка и определение направлений повышения качества ТК осуществляется на основе анализа системы программа обучения – оператор – тренажер и определяющих этот процесс параметров. С целью формулирования наиболее целесообразных приемов действий в каждом конкретном случае может использоваться

определенный алгоритм анализа и представления данных о качестве ТК, исходя из специфики условий и характера выполняемой задачи [6].

Структура алгоритмического обеспечения оценки и определения направлений повышения качества ТК обуславливается составом и взаимосвязью частных методик анализа и синтеза ТК. Алгоритм имеет иерархическую структуру и строится на основе взаимосвязанных компонент различного уровня, представляющих собой отдельные алгоритмы, предназначенные для решения частных задач.

Назначение. Алгоритм оценки и определения направлений повышения качества ТК предназначен для решения задачи анализа ТК, т.е. определения состояния исследуемого объекта в n -мерном пространстве относительно эффективной гиперповерхности и задачи синтеза.

Описание задачи. Исследуется множество ТК $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, смоделированных в виде объектов с входными и выходными параметрами $K = \{K_1, \dots, K_m, \dots, K_r\}$, в которых все входные и выходные данные статистически независимы (в т. ч., определяемые в соответствии с порядковой шкалой).

На основе статистических данных о показателях качества ТК определяется технический уровень n -исследуемого объекта относительно других исследуемых объектов во множестве допустимых значений показателей. По полученным данным строится эффективная гиперповерхность относительно эффективных объектов. Проводится анализ состояния исследуемого объекта, в зависимости от степени его качества, делается вывод о необходимости перехода к решению оптимизационной задачи.

Решение задачи синтеза осуществляется на основе результатов определения качества ТК включает: перевод исследуемого объекта в состояние качественного, путем решения оптимизационной задачи по S , определения зоны устойчивости исследуемого объекта по бесконечной или единичной норме R .

Исходные данные:

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ – множество исследуемых объектов;

$K = \{K_1, \dots, K_m, \dots, K_r\}$ – множество показателей качества исследуемых объектов;

$X = \langle X_1, X_2, \dots, X_n \rangle, X \subset K$ – вектор значений входных переменных;

$Y = \langle Y_1, Y_2, \dots, Y_n \rangle, Y \subset K$ – вектор значений выходных переменных;

Результаты решения:

η^* – технический уровень исследуемого объекта в условиях ограничений входных параметров (X_0, Y_0) ;

θ^* – технический уровень исследуемого объекта в условиях ограничений выходных параметров (X_0, Y_0) ;

z^* – технический уровень исследуемого объекта в условиях отсутствия ограничений входных и выходных параметров (X_0, Y_0) ;

S^{-*}, S^{+*} – значения оптимальных дополнительных переменных, указывающих в n -мерном пространстве исследуемых объектов направления повышения качества;

R – радиус зоны устойчивости исследуемого объекта (X_0, Y_0) по единичной или бесконечной нормам;

Функциональная схема алгоритма представлена на рисунке 1.

Сходимость алгоритма обеспечивается линейностью, в целом, самого алгоритма и входящих в него процессов (алгоритмов более низкого иерархического уровня), а также тем, что в имеющихся циклических участках с циклами по условию, значения контролируемых параметров, которые сначала (до начала проверки условий) неизвестны, затем (после проверки условия) с каждым выполнением цикла определяют технический уровень ТК ($\theta^* = 1, S^{-*} = 0, S^{+*} = 0$), что является условием окончания выполнения циклов.

Детерминированность алгоритма обеспечивается тем, что все необходимые исходные данные вводятся в начале алгоритма; расчеты производятся для каждого исследуемого объекта (в ограничения включены требования измеримости исходных данных и преобразований, что не допускает получения иных результатов); в операторах, проверяющих логические условия. Таким образом, исключены возможности появления непредусмотренных значений (см. выше сходимость алгоритма).

Массовость обеспечивается определением множества исходных данных, при которых алгоритм работоспособен.

ВЫВОДЫ

Алгоритм разработан на основе ранее проведенных исследований и математических моделях по оценке и определению направлений повышения качества ТК.

Разработанный алгоритм позволяет проводить оценку технического уровня ТК и определять направления повышения его качества в условиях ограничений, накладываемых на значения вектора входных переменных, вектора выходных переменных, а также отсутствия ограничений.

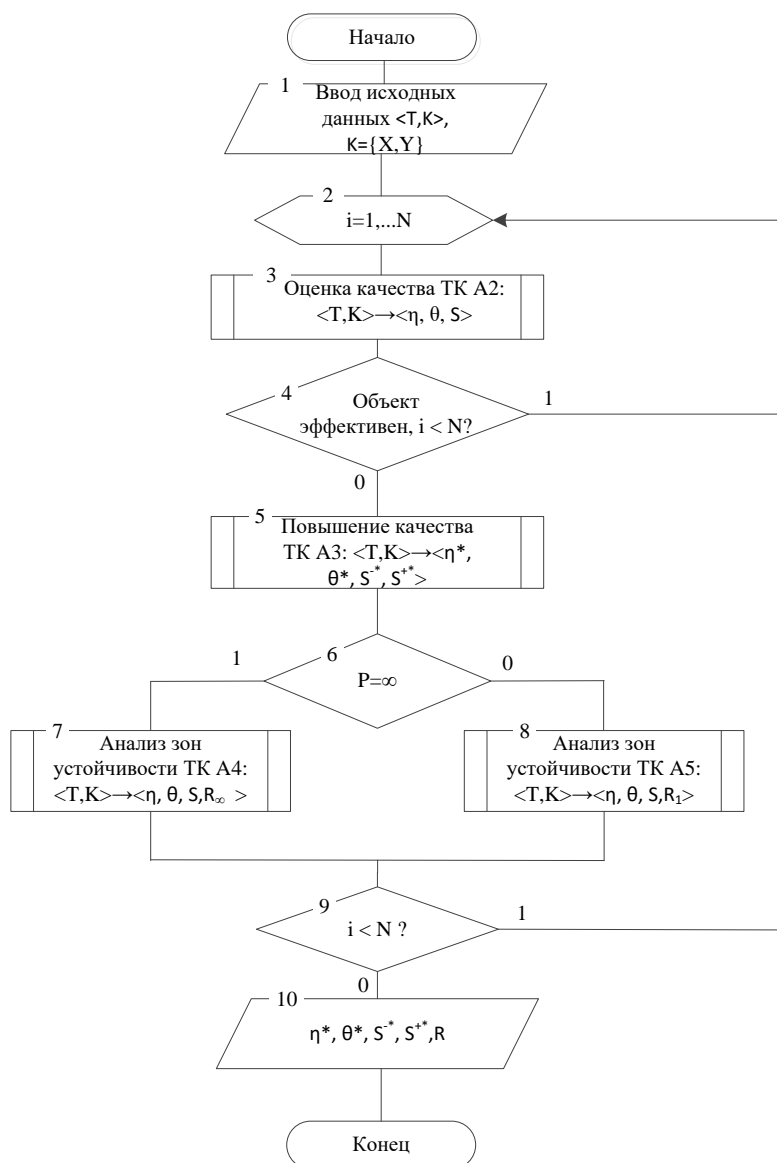


Рисунок1 – Функциональная схема алгоритма оценки и определения направлений повышения качества ТК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баландин А.Е., Звекон С.Г., Селиверстов Д.Е. Применение технологии анализа среды функционирования при подготовке операторов БЛА. «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов». Сб. докл. X-й всероссийской юбилейной НТК. г. Москва, МАИ (НИУ), 26 июня 2015.
2. Дикарев В.А. К вопросу разрешения конфликта качества тренажной подготовки операторов военных радиоэлектронных объектов // Вестник военного регистра. 2001.РВСН № 11. С. 28 – 33.
3. Кривоножко В.Е., Лычев А.В. Моделирование и анализ деятельности сложных систем — М.: ЛЕНАНД, 2013. — 256 с.
4. Рожнов А.В., Антиох Г. М., Селиверстов Д.Е., Кублик Е. И. Системная интеграция направлений научной деятельности в условиях формирования

прединтеллектуальной инфраструктуры. МНТЖ «Информационно-измерительные и управляющие системы» №11, т.12. Издательство «Радиотехника», г. Москва 2014 год.

5. Селиверстов Д.Е. Применение роботизированной системы охраны для выполнения задачи поиска и уничтожения забрасываемых передатчиков помех. Актуальные вопросы современных информационных технологий. НТС «Известия ВА РВСН им. Петра Великого» № 257, г. Москва 2014 год.. стр. 255-259

6. Селиверстов Д.Е., Князев В.В. Модель оценки эффективности подготовки операторов робототехнических комплексов военного назначения. Информатика, вычислительная техника и управление. // Сб. науч. Тр.. Князева А.В, Ловцова Д.А. – М.: ИТМ и ВТ РАН, 2015. – 330с. ИНВ. № 2174. С. 180-184.

7. Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. и др. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.

8. Charnes A., Cooper W.W. and Rhodes E. 1978. «Measuring the efficiency of decision making units». European Journal of Operation Research 2, 429 - 444.

9. Banker R.D. 1984. «Estimating most productive size using data envelopment analysis», European Journal of Operation Research 17, 35-44.

С.С. СТАТИН, помощник ведущего инженера научно-исследовательского испытательного отдела Государственного летно-испытательного центра Минобороны России им. В.П. Чкалова
А.Ю. ГЕТМАНЦЕВ кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского испытательного отдела Государственного летно-испытательного центра Минобороны России им. В.П. Чкалова

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ В КОМПЛЕКСАХ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

В широком смысле под радиоэлектронной борьбой (РЭБ) понимается использование всех участков электромагнитного спектра в целях повышения эффективности боевого применения своих сил и средств, а также снижения возможностей противника в управлении его силами и средствами. Мероприятия РЭБ носят оборонительный, наступательный и обеспечивающий характер и проводятся как при вооруженном противоборстве, так и в ходе операций, не связанных с ведением боевых действий.

Исходя из своего функционального предназначения и решаемых задач, системы и средства РЭБ подразделяются на три большие группы:

системы и средства радиоэлектронного подавления (радиоэлектронной атаки);

системы и средства радиоэлектронной защиты;

системы и средства радиоэлектронного обеспечения (РЭО).

РЭО предполагает проведение мероприятий разведывательного характера с целью обнаружения, перехвата, идентификации преднамеренных и непреднамеренных сигналов радиоэлектронных систем (РЭС) противника, определения местоположения их источников для своевременного вскрытия угрозы, принятия мер по противодействию, а также для дальнейшего использования в процессе планирования боевых действий. Основная часть задач по ведению РЭБ возлагается на системы и средства воздушного базирования, при этом беспилотные летательные аппараты (БЛА) обладают рядом преимуществ перед пилотируемыми средствами, в первую очередь - это отсутствие риска для человека [1].

В настоящее время БЛА отводится важная роль в совершенствовании системы вооружения современной армии. Уникальные свойства беспилотных комплексов позволяют решать широкий круг задач в интересах различных воинских инстанций, особенно в условиях, когда применение других средств по критерию «стоимость – эффективность» нецелесообразно. Такими задачами могут быть:

воздушная разведка с представлением данных в реальном масштабе времени; целеуказание и корректировка огня артиллерии и ракетных войск;

целеуказание (наведение) авиации на наземные цели.

В настоящее время основные усилия по созданию беспилотных комплексов нового поколения и модернизации существующих сосредоточены на следующих направлениях:

создании унифицированных комплексов, сопрягаемыми с автоматизированными системами управления войсками;

разработка базовых комплексов с перспективой наращивания их возможностей, в том числе применением сменной целевой нагрузки (разведки, целеуказания, радиоэлектронной борьбы, ретрансляции связи) [1].

Исходя из тактики ведения современного вооруженного противоборства, важно отметить, что вооруженные конфликты современности имеют ярко выраженный локальный характер [2].

Поскольку боевые действия в вооруженных конфликтах современности развертываются на широком фронте, а артиллерия имеет ограниченную дальность стрельбы, повышается роль авиации в огневой поддержке войск, а именно роль боевых вертолетов [2].

Одним из важнейших недостатков боевых вертолетов является уязвимость перед стрелковым оружием противника [2].

Анализ существующих систем защиты ЛА от высокоточного оружия противника показывает, что на сегодняшний день отсутствуют абсолютно эффективные системы защиты экипажа вертолета от обстрелов стрелковым оружием.

Таким образом, существует острая необходимость оснащения БЛА системами обнаружения огневых позиций стрелков, позволяющими своевременно обнаруживать огневые позиции с целью их дальнейшего подавления, повышая тем самым вероятность успеха боевых действий за счет повышения степени боевой живучести и эффективности применения вертолетов в боевых условиях.

Наиболее эффективным способом, позволяющим определять движение мелкогабаритных объектов, которыми являются пули, является акустический.

Акустический метод обнаружения позиций стрелков имеет целый ряд преимуществ [3,4]:

возможность определения в режиме реального времени координат цели с точностью, достаточной для огневого поражения цели;

круговой (360°) сектор разведки при обеспечении определения узкого сектора обстрела;

достаточная глубина разведки (не меньше дальности огневого поражения стрелковым оружием);

определение калибра и вида оружия по анализу акустического спектра сигнала, что позволяет анализировать боевую ситуацию и устанавливать приоритеты целей;

пассивный (ждущий) режим работы, обеспечивающий системе помехоустойчивость и маскировку;

обнаружение нескольких огневых позиций, из которых огонь ведётся одновременно, за счет применения современного математического аппарата;

длительная непрерывная работа (месяц и более) в необслуживаемом автоматизированном режиме;

всепогодность и работа как в дневное, так и в ночное время при сложной фоноцелевой обстановке;

небольшие массово-габаритные характеристики;

возможность исключения из фона шума, создаваемого двигателем и вооружением БЛА;

возможность работы в движении.

Таким образом, система обнаружения огневых позиций стрелков должна реализовывать акустический метод.

Акустическая система работает следующим образом: акустический сигнал фиксируется микрофонами и преобразуется в электрический сигнал, затем оцифровывается. Электрический сигнал усиливается, фильтруется по частоте сигнала, уровню сигнала и типу сигнала. Далее сигнал поступает в блок обработки, определения координат и типа реальных целей. Происходит выдача информации на экран дисплея и воспроизводится речевое сообщение об обстреле.

Исходя из вышеизложенного, в состав акустической системы обнаружения огневых позиций стрелков должны входить:

акустические датчики (микрофоны);

специализированный вычислитель;

информационный дисплей.

Внедрение акустической системы обнаружения огневых позиций стрелков в состав средств РЭБ и оснащение ими БЛА позволит:

наряду с мероприятиями разведывательного характера с целью обнаружения, перехвата, идентификации РЭС противника и определения местоположения их источников вести разведку огневых позиций стрелков с целью принятия своевременных мер по их уничтожению;

расширить боевые возможности комплексов с БЛА, оснащаемых средствами РЭБ и воздушной разведки;

получать информацию о местоположении стрелков в реальном масштабе времени;

избежать существенного повышения массогабаритных показателей БЛА за счет унифицированности средств РЭБ, оснащаемых БЛА (необходима установка на БЛА только акустических датчиков, вычислитель и дисплей уже имеется в составе средств РЭБ, требуется лишь доработка ПО);

добиться хороших показателей по критерию «стоимость-эффективность»;

повысить степень боевой эффективности и живучести при применении вертолетов в боевых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоэлектронная борьба/ А.И.Куприянов. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.:ил.
2. Информационно-аналитический журнал «Зарубежное военное обозрение».
3. А.В. Таланов. Звуковая разведка артиллерии. Воениздат. Мин. ВС СССР. Москва. 1948 г.
4. Общая акустика. М.А.Исакович. Учебное пособие. Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, – М., 1973 г.

В.В. БОРОДИН, кандидат технических наук, доцент МАИ (НИУ)

А.М. ПЕТРАКОВ, кандидат технических наук, доцент МАИ (НИУ)

В.А. ШЕВЦОВ, доктор технических наук, профессор МАИ (НИУ)

А.Д. ТАЛАЕВ, аспирант МАИ (НИУ)

МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕТИ СВЯЗИ ГРУППИРОВКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В настоящее время для решения многих задач предлагается использовать группировку (Swarm) беспилотных летательных аппаратов (БЛА, дронов) [1,2]. Эффективность группировки значительно повышается при наличии информационного взаимодействия между ее членами. Для реализации обмена данными использована сеть связи, удовлетворяющая дополнительным требованиям, в частности:

каждый летательный аппарат группировки является сетевым узлом и выполняет функции, как маршрутизатора, так и оконечного устройства;

информационное взаимодействие с удаленным пунктом управления минимально или отсутствует, что обеспечивает автономность группировки;

сеть является самоконфигурируемой, что исключает необходимость внешних механизмов настройки;

вместо централизованного используется локальное управление, реализованное на каждом сетевом узле;

относительно малое время жизни сети в одной и той же конфигурации.

В литературе сети, удовлетворяющие приведенным требованиям, получили название адаптивных сетей [3]. Мобильная адаптивная сеть обладает рядом преимуществ по сравнению с сетями с фиксированной инфраструктурой: высокой живучестью, гибкостью топологии, автоматической адаптацией к изменениям сетевой конфигурации.

Отметим также, в ряде применений адаптивных радиосетей используется ограниченная полоса частот, что накладывает существенные ограничения на суммарную скорость передачи пакетов. Учет указанного обстоятельства приводит к необходимости разработки и использования высокоэффективных механизмов передачи как основной, так и служебной информации.

Для анализа вероятностно-временных характеристик и проектирования сетей связи беспилотных летательных аппаратов разработана имитационная модель адаптивной сети, основные характеристики и функции которой представлены в докладе.

Описание модели сети

Модель предназначена для исследования адаптивной радиосети с коммутацией пакетов. При моделировании предполагается, что N сетевых узлов находятся

внутри области (области нахождения) заданной формы (квадрат, куб, и тд) единичной площади (объема). Имеется возможность формирования нескольких типов структур, в том числе:

- случайная структура, узлы которой имеют случайные координаты;

- иерархическая структура;

- линейная структура, узлы которой расположены последовательно друг за другом;

- кольцевая структура и др.;

при моделировании движения узлов, координаты каждого узла получают определенные приращения, отражающие характер движения;

в сети предусмотрена передача пакетов с использованием случайного доступа, а также циклического доступа с временным или частотным разделением каналов. Расчет вероятности коллизии пакетов при случайном доступе выполняется аналитически с учетом воздействия шумов, помех, вызванных одновременной передачей пакетов несколькими узлами, энергетикой оборудования и координат узлов;

для распознавания коллизий моделируются процедуры квитирования, в том числе, учитывается возможность искажения или коллизий самих квитанций. При передаче сообщений возможно изучение алгоритмов резервирования многоточечных (в частности, двухточечных) каналов.

В условиях низкого энергетического потенциала радиоканала для обеспечения полной связности сети, используется ретрансляция пакетов. Анализ эффективности сети в этом случае проводится с учетом характеристик служебного канала, используемого для рассылки маршрутной информации о состоянии узлов, каналов и сети в целом.

Каждый узел сети может являться источником сообщений. Модель позволяет формировать рекуррентные потоки общего вида (в том числе и пуассоновские), а также самоподобный трафик.

В сети реализованы следующие адаптивные механизмы управления:

- управление периодом повторной передачи искаженных пакетов в зависимости от сетевого трафика и энергетического потенциала канала связи;

- управление доступом в зависимости от трафика и количества узлов сети;

- управление функционированием служебного каналов связи и его взаимодействием с информационным каналом.

В модели реализованы процессы, обеспечивающие при определенных условиях, повышение эффективности функционирования сети, в том числе:

- изменение диаграммы направленности приемо-передающих антенн;

- переход с одноканального на многоканальный режим передачи пакетов;

- группировка пакетов в сообщения и резервирование каналов;

- изменение соотношений между скоростью передачи основного и служебного каналов.

Состав модели

Функционально модель содержит следующие блоки:

блок задания исходных данных для моделирования;

блок моделирования;

блоки обработки и отображения результатов моделирования.

Входные параметры блока задания исходных данных определяются для четырех уровней модели взаимодействия открытых систем МВОС.

На физическом уровне определяются следующие параметры:

размеры и форма области нахождения узлов;

количество узлов сети;

потенциалы радиолинии;

количество каналов передачи, методы уплотнения и закрепления каналов;

модели для расчета вероятности искажения символов и пакетов в целом;

диаграммы направленности антенн;

параметры искажений и характеристики преднамеренных помех.

На канальном уровне определяются следующие параметры:

методы доступа;

методы квитирования пакетов;

алгоритмы функционирования и параметры служебного канала.

На сетевом уровне определяются:

состав метрик для маршрутизации пакетов;

параметры изменений структуры сети;

методы маршрутизации.

На транспортном уровне определяются:

структура передаваемых сообщений и способ разбиения сообщения на пакеты;

варианты резервирования каналов для обмена данными между узлами.

На уровне прикладных процессов задаются:

характеристики источника сообщений;

сопоставления узлам-источникам адресатов сообщений.

Состав блока моделирования.

Имитационное моделирование выполняется по событиям на заданном интервале времени функционирования сети. Имеется возможность исследовать стационарные и нестационарные процессы поведения сети с заданной допустимой статистической ошибкой.

Модель позволяет определять статистические характеристики следующих величин:

времени ожидания передачи пакета в узле;

времени передачи пакета по сети от источника до потребителя;

времени повторной передачи пакетов и количества повторных передач;

очередь ожидания пакетов, и др.

В модели заложены механизмы для:

распознавания перехода сети в неустойчивое состояние;

сокращения времени моделирования и получения экспресс результатов; оптимизации параметров сети; отображения в ходе моделирования параметров сети.

Блоки обработки и отображения результатов моделирования формируют по полученным результатам заданные статистики (законы распределения, средние, дисперсии и т.д.) и отображают полученные результаты в виде графиков и таблиц.

Заключение

Представленная в докладе модель разработана на высокоуровневом графическом объектно-ориентированном языке моделирования. В настоящее время получен большой статистический материал по результатам исследований. Частично результаты исследования отражены в статьях [4,5,6]. В настоящее время к изданию готовится работа, посвященная анализу и выбору эффективных алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных группировки беспилотных летательных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенденции развития систем передачи данных при использовании БЛА В. Попов, кандидат технических наук; Д. Федутин. Зарубежное военное обозрение 2006 №4
2. Ким Н.В., Крылов И.Г. Групповое применение БЛА в задачах наблюдения. Сб. докл. IX –й Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов», Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2012, с.59-62.
3. Разгуляев Л. Перспективные мобильные адаптивные сети передачи информации для СВ США «Зарубежное военное обозрение» 2008 №1 с.35-39
4. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов, Труды МАИ, 2015 г, вып.81.
5. Бородин В.В., Петраков А.М. Анализ алгоритмов управления адаптивной сетью передачи данных по локальным параметрам, Труды МАИ, 2012 г, вып.58.
6. Бородин В.В. Выбор параметров управления доступом в сетях связи с мобильными объектами, Труды МАИ, 2012 г, вып. 80.

С.А. ТАШКОВ начальник кафедры боевого маневрирования авиационных комплексов ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

Р.Р. ШАТОВКИН доктор технических наук, старший преподаватель кафедры боевого маневрирования авиационных комплексов ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.

Наличие на борту современных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) высокоточных датчиков параметров полета, способных регистрировать практически полную информацию об их изменении в течение всего полета БЛА, а также наличие возможности по автоматизированной обработке этих параметров, позволяет говорить о наличии достаточной материальной базы для проведения летных исследований (экспериментов). В соответствии с этим, был проведен летный эксперимент по выявлению особенностей движения БЛА.

Цель эксперимента: измерение значений параметров полета БЛА, выявление и изучение особенностей их изменения.

Структурная схема взаимодействия систем измерения и обработки экспериментальных данных представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия систем измерения, регистрации и обработки экспериментальных данных

В ходе полунатурного летного эксперимента можно выделить следующие основные этапы:

1 этап. Проведение исследовательских полетов БЛА, осуществляющего движение по траектории с прямолинейными и криволинейными участками.

Использование такой траектории обуславливает всесторонний учет влияния ветра на показания акселерометра и гироскопа. Это позволит сформировать информативные выборки исследуемых параметров движения БЛА. Траектория полета БЛА, восстановленная на основе информации спутниковой системы GPS, в прямоугольной пространственной системе координат представлена на рисунке 2 [1].

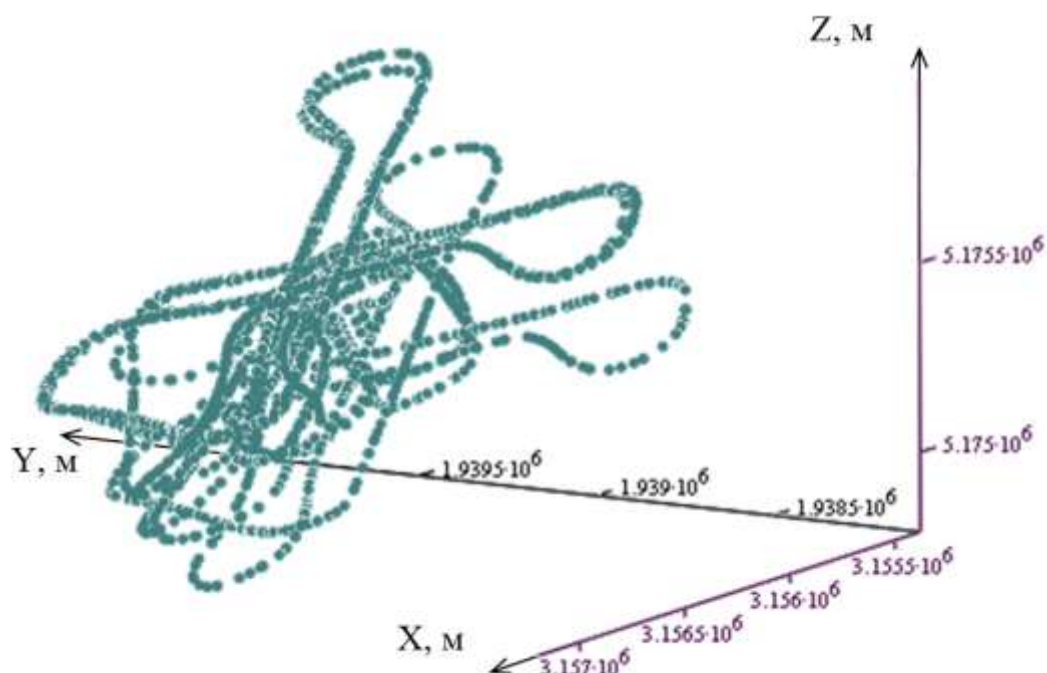


Рисунок 2 – Траектория БЛА в прямоугольной пространственной системе координат

2 этап. Измерение и регистрация параметров полета БЛА измерительным модулем.

Измерительный модуль с интервалом регистрации $T_{рег} = 0,01$ с регистрирует следующие параметры движения БЛА: скорость $V_k^{н.и}$, высоту над поверхностью эллипсоида $H_k^{н.и}$, широту $B_k^{н.и}$ и долготу $L_k^{н.и}$ – приемником навигатора U-blox LEA-6N; угловые скорости $\omega_{xk}^{г.и}$, $\omega_{yk}^{г.и}$, $\omega_{zk}^{г.и}$ – гироскопом и составляющие ускорения $a_{xk}^{a.и}$, $a_{yk}^{a.и}$, $a_{zk}^{a.и}$ – акселерометром в составе MPU-6000 [2, 3].

3 этап. Первичная обработка параметров с целью исключения грубых ошибок и получения массивов данных для последующей обработки.

На данном этапе исключаются грубые ошибки в измерении параметров движения БЛА, которые обусловлены сбоями и перерывами в регистрации данных. В таблице 1 приведены диапазоны измерений и погрешности регистрации этих измерителей [2, 3].

4 этап. Анализ результатов полунатурного летного эксперимента, выявление особенностей и закономерностей изменения параметров движения БЛА.

Определение опытных одномерных законов распределения случайных процессов (СП) $A_x^{aH}(t)$, $A_y^{aH}(t)$, $A_z^{aH}(t)$; $W_x^{rH}(t)$, $W_y^{rH}(t)$, $W_z^{rH}(t)$ осуществлялось по $N = 2,15 \cdot 10^5$ отсчетам $a_x^{aH}(t)$ одиночной реализации $\{a_x^{aH}(t_1), a_x^{aH}(t_2) \dots a_x^{aH}(t_N)\}$; $a_y^{aH}(t)$ – реализации $\{a_y^{aH}(t_1), a_y^{aH}(t_2) \dots a_y^{aH}(t_N)\}$; $a_z^{aH}(t)$ – реализации $\{a_z^{aH}(t_1), a_z^{aH}(t_2) \dots a_z^{aH}(t_N)\}$; $\omega_x^{rH}(t)$ – реализации $\{\omega_x^{rH}(t_1), \omega_x^{rH}(t_2) \dots \omega_x^{rH}(t_N)\}$; $\omega_y^{rH}(t)$ – реализации $\{\omega_y^{rH}(t_1), \omega_y^{rH}(t_2) \dots \omega_y^{rH}(t_N)\}$; $\omega_z^{rH}(t)$ – реализации $\{\omega_z^{rH}(t_1), \omega_z^{rH}(t_2) \dots \omega_z^{rH}(t_N)\}$.

Т а б л и ц а 1 – Диапазоны измерений и погрешности регистрации параметров движения БЛА

№№ п/п	Наименование параметра	Тип датчика	Диапазон измерений	Погрешность регистрации
1	Скорость $V_k^{H''}$	U-blox EA-6H	0...500 м/с	$\pm 0,1$ м/с
2	Высота $H_k^{H''}$		0...50000 м	± 8 м
3	Широта $B_k^{H''}$		$-180 \dots +180^0$	$\pm 2,5$ м
4	Долгота $L_k^{H''}$		$-180 \dots +180^0$	$\pm 2,5$ м
5	Угловая скорость ω_{xk}^{rH}	MPU-6000	$-250 \dots +250$ град/с	$\pm 0,0076$ град/с
6	Угловая скорость ω_{yk}^{rH}		$-250 \dots +250$ град/с	$\pm 0,0076$ град/с
7	Угловая скорость ω_{zk}^{rH}		$-250 \dots +250$ град/с	$\pm 0,0076$ град/с
8	Продольное ускорение a_{xk}^{aH}		$-2g \dots +2g$	$\pm 5,98 \cdot 10^{-4}$ м/с ²
9	Боковое ускорение a_{yk}^{aH}		$-2g \dots +2g$	$\pm 5,98 \cdot 10^{-4}$ м/с ²
10	Нормальное ускорение a_{zk}^{aH}		$-2g \dots +2g$	$\pm 5,98 \cdot 10^{-4}$ м/с ²

Значения отсчетов $a_x^{aH}(t)$, $a_y^{aH}(t)$, $a_z^{aH}(t)$, $\omega_x^{rH}(t)$, $\omega_y^{rH}(t)$, $\omega_z^{rH}(t)$ получены при длительном полете БЛА. Интервал между отсчетами $\Delta t = T_{\text{рег}} = 0,01$ с.

Опытные плотности распределения вероятностей $f^*(a_x^{aH})$, $f^*(a_y^{aH})$ и $f^*(a_z^{aH})$ представлены на рисунках 3–5; плотности $f^*(\omega_x^{rH})$, $f^*(\omega_y^{rH})$ и $f^*(\omega_z^{rH})$ – на рисунках 6–8, соответственно.

Опытные математические ожидания и СКО исследуемых плотностей распределения вероятностей:

$$\text{для } f^*(a_x^{aH}) - m_{a_x}^{aH*} = -0,231 \text{ м/с}^2, \sigma_{a_x}^{aH*} = 4,198 \text{ м/с}^2;$$

для $f^*(a_y^{aH}) - m_{a_y}^{aH*} = 0,615 \text{ м/с}^2, \sigma_{a_y}^{aH*} = 2,59 \text{ м/с}^2;$

для $f^*(a_z^{aH}) - m_{a_z}^{aH*} = 10,276 \text{ м/с}^2, \sigma_{a_z}^{aH*} = 8,09 \text{ м/с}^2;$

для $f^*(\omega_x^{\Gamma H}) - m_{\omega_x}^{\Gamma H*} = -0,136 \text{ рад/с}, \sigma_{\omega_x}^{\Gamma H*} = 0,208 \text{ рад/с};$

для $f^*(\omega_y^{\Gamma H}) - m_{\omega_y}^{\Gamma H*} = 0,064 \text{ рад/с}, \sigma_{\omega_y}^{\Gamma H*} = 0,136 \text{ рад/с};$

для $f^*(\omega_z^{\Gamma H}) - m_{\omega_z}^{\Gamma H*} = 0,012 \text{ рад/с}, \sigma_{\omega_z}^{\Gamma H*} = 0,118 \text{ рад/с}.$

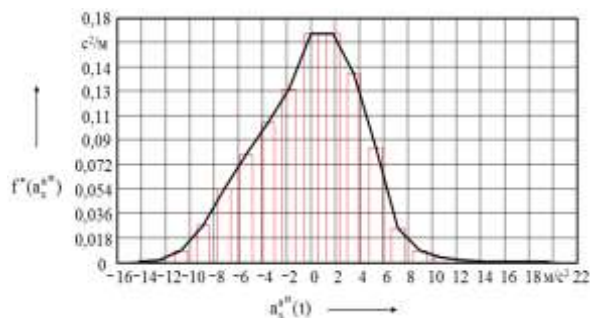


Рисунок 3 – Опытная плотность
распределения вероятностей $f^*(a_x^{aH})$

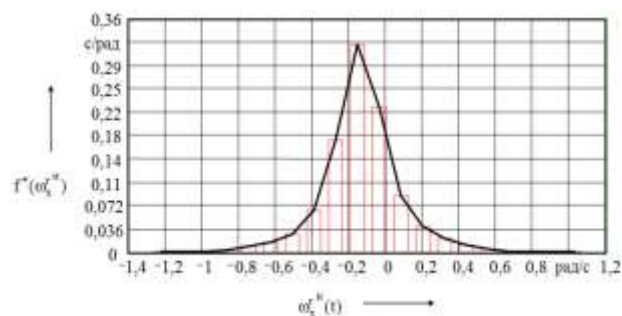


Рисунок 6 – Опытная плотность
распределения вероятностей $f^*(\omega_x^{\Gamma H})$

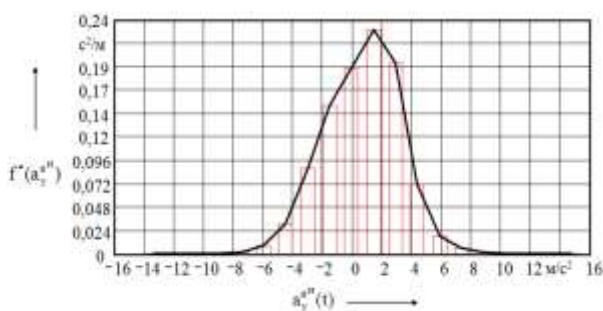


Рисунок 4 – Опытная плотность
распределения вероятностей $f^*(a_y^{aH})$

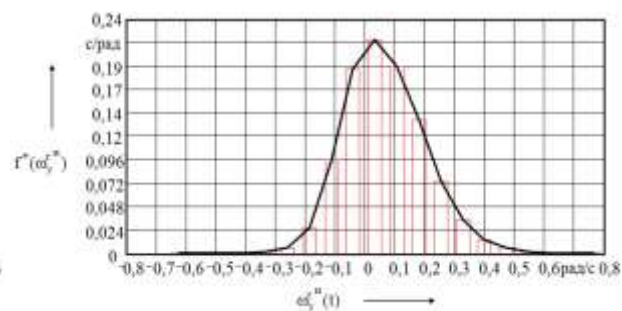


Рисунок 7 – Опытная плотность
распределения вероятностей $f^*(\omega_y^{\Gamma H})$

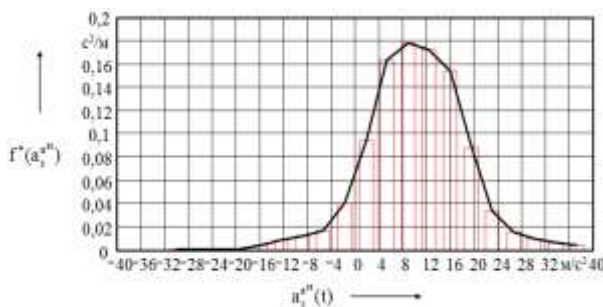


Рисунок 5 – Опытная плотность
распределения вероятностей $f^*(a_z^{aH})$

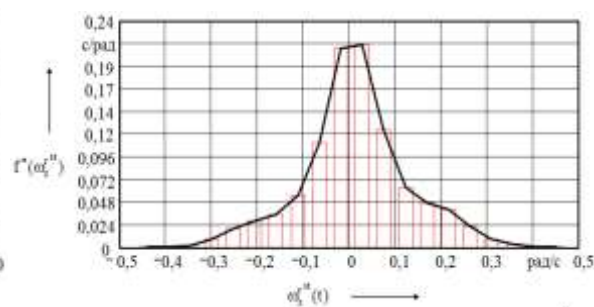


Рисунок 8 – Опытная плотность
распределения вероятностей $f^*(\omega_z^{\Gamma H})$

Проверка на соответствие теоретическим законам полученных опытных одномерных законов распределения осуществлялась с использованием критерия со-

гласия χ^2 (К. Пирсона), позволяющего проверить гипотезу в случае, когда параметры теоретического закона распределения неизвестны. Критерий согласия χ^2 устанавливает на принятом уровне значимости согласие или несогласие теоретического закона распределения с опытным [4]. В условиях решаемой задачи проверка на соответствие осуществлялась при уровне значимости 0,01.

Результаты проведенных исследований, показывают, что опытной плотности распределения вероятностей:

$f^*(a_x^{aH})$ на интервале принимаемых значений $a_x^{aH} \in [-15,258;20,555]$ м/с² соответствует гипотеза о гауссовском распределении:

$$f(a_x^{aH}) = \frac{1}{\sigma_{a_x^{aH}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_x^{aH} - m_{a_x^{aH}} \right)^2}{2\sigma_{a_x^{aH}}^2} \right\}, \quad (1)$$

где математическое ожидание $m_{a_x^{aH}} = 0$ м/с² и СКО $\sigma_{a_x^{aH}} = 4,3$ м/с²;

$f^*(a_y^{aH})$ на интервале принимаемых значений $a_y^{aH} \in [-14,155;15,44]$ м/с² соответствует гипотеза о гауссовском распределении:

$$f(a_y^{aH}) = \frac{1}{\sigma_{a_y^{aH}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_y^{aH} - m_{a_y^{aH}} \right)^2}{2\sigma_{a_y^{aH}}^2} \right\}, \quad (2)$$

где математическое ожидание $m_{a_y^{aH}} = 1$ м/с² и СКО $\sigma_{a_y^{aH}} = 2,5$ м/с²;

$f^*(a_z^{aH})$ на интервале принимаемых значений $a_z^{aH} \in [-31,932;38,942]$ м/с² соответствует гипотеза о гауссовском распределении:

$$f(a_z^{aH}) = \frac{1}{\sigma_{a_z^{aH}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_z^{aH} - m_{a_z^{aH}} \right)^2}{2\sigma_{a_z^{aH}}^2} \right\}, \quad (3)$$

где математическое ожидание $m_{a_z^{aH}} = 10$ м/с² и СКО $\sigma_{a_z^{aH}} = 8$ м/с²;

$f^*(\omega_x^{\Gamma H})$ на интервале принимаемых значений $\omega_x^{\Gamma H} \in [-1,286;1,091]$ рад/с соответствует гипотеза о гауссовском распределении:

$$f(\omega_x^{\Gamma H}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_x^{\Gamma H}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_x^{\Gamma H} - m_{\omega_x^{\Gamma H}} \right)^2}{2\sigma_{\omega_x^{\Gamma H}}^2} \right\}, \quad (4)$$

где математическое ожидание $m_{\omega_x^{\Gamma H}} = -0,136$ рад/с и СКО $\sigma_{\omega_x^{\Gamma H}} = 0,16$ рад/с;

$f^*(\omega_y^{\Gamma И})$ на интервале принимаемых значений $\omega_y^{\Gamma И} \in [-0,666;0,8]$ рад/с соответствует гипотеза о гауссовском распределении:

$$f(\omega_y^{\Gamma И}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_y}^{\Gamma И} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_y^{\Gamma И} - m_{\omega_y}^{\Gamma И}\right)^2}{2\sigma_{\omega_y}^{\Gamma И 2}} \right\}, \quad (5)$$

где математическое ожидание $m_{\omega_y}^{\Gamma И} = 0,064$ рад/с и СКО $\sigma_{\omega_y}^{\Gamma И} = 0,13$ рад/с;

$f^*(\omega_z^{\Gamma И})$ на интервале принимаемых значений $\omega_z^{\Gamma И} \in [-0,465;0,473]$ рад/с соответствует гипотеза о гауссовском распределении:

$$f(\omega_z^{\Gamma И}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_z}^{\Gamma И} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_z^{\Gamma И} - m_{\omega_z}^{\Gamma И}\right)^2}{2\sigma_{\omega_z}^{\Gamma И 2}} \right\}, \quad (6)$$

где математическое ожидание $m_{\omega_z}^{\Gamma И} = 0,012$ рад/с и СКО $\sigma_{\omega_z}^{\Gamma И} = 0,09$ рад/с.

Таким образом, шумы измерения акселерометра и гироскопов можно описать соответствующими моделями (гауссовскими законами распределения с соответствующими параметрами), представленными выражениями (1)–(3) – при измерении продольной, боковой и нормальной составляющих вектора ускорения БЛА, и выражениями (4)–(6) – при измерении продольной, боковой и нормальной составляющих вектора угловой скорости БЛА гироскопом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. М.: Стандартинформ, 2009. 29 с.
2. LEA-6 U-blox 6 GPS Modules. Data Sheet. Docu. GPS.G6-HW-09004-E2. U-blox. 2013. 26р.
3. MPU-6000/MPU-6050 Product Specification. Revision 3.2. Sunnyvale: Component Distributors Inc., 2011. 57 p.
4. Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: примеры и задачи / под ред. проф. В.И. Тихонова. М.: Советское радио, 1980. 544 с.

А.Н. ТОЛЧКОВ, кандидат технических наук,
начальник лаборатории ВУНЦ ВВС «ВВА» (г.
Воронеж)

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ СВЯЗИ ГРУППЫ БЛА В УСЛОВИЯХ ОРГАНИЗОВАННОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Развитие тактики и способов боевого применения беспилотных летальных аппаратов (БЛА) приводит к необходимости организации автономных групповых действий БЛА и во взаимодействии с пилотируемой авиацией [1]. Основой организации групповых действий БЛА является создание устойчивой к воздействию помех сети связи внутри группы БЛА, а так же с внешними управляющими и взаимодействующими пунктами управления (ПУ) наземного (воздушного) базирования.

Обеспечение групповых действий БЛА требует использования сетевых принципов построения систем связи [2], реализующих возможность прямого информационного взаимодействия, между отдельными БЛА в группе и с внешними ПУ.

В данном случае каждый БЛА в группе можно рассматривать как узел связи (УС) сети, через который может осуществляться трансляция информации от источника к потребителю. Поддержание требуемых показателей по качеству передачи информации может быть обеспечено введением протоколов оптимальной маршрутизации.

Цель работы. Оценка эффективности использования протоколов оптимальной маршрутизации в сетях связи БЛА функционирующих в условиях организованного радиоэлектронного противодействия.

Постановка задачи. Модель сети связи группы БЛА представляется как совокупность подвижных УС соединенных друг с другом каналами связи (КС) [4]. Базовая модель топологии сети задается графом $G(N, M)$ состоящего из N вершин (узлов связи) и M соединяющих их попарно ветвей (каналов связи) рисунок 1.

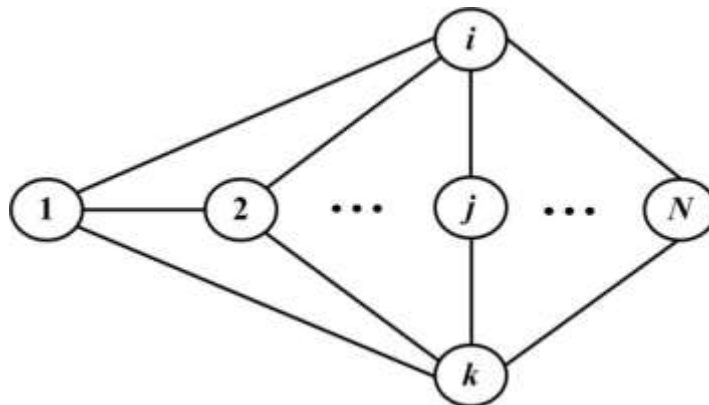


Рисунок 1 – топология сети связи группы БЛА

Канал связи непосредственно соединяющий узлы i и j – КС^(i,j) образует ветвь $\beta^{(i,j)}$. Качество передачи данных ветвью сети $\beta^{(i,j)} \in M$ характеризуется вероятностью ошибки передачи информации в КС^(i,j).

$$P_e^{(i,j)} = P_{pr}^{(i,j)}(0)P_{лт}^{(i,j)} + P_{pr}^{(i,j)}(1)P_{пр}^{(i,j)} \quad (1)$$

где $P_{pr}^{(i,j)}(0)$, $P_{pr}^{(i,j)}(1)$ – априорные вероятности наличия и отсутствия сигнала; $P_{лт}^{(i,j)}$ и $P_{пр}^{(i,j)}$ – соответственно вероятности ложной тревоги и пропуска сигнала.

Для оптимального приемника, построенного с использованием критерия идеального наблюдателя при равных значениях априорных вероятностей $P_{pr}^{(i,j)}(0) = P_{pr}^{(i,j)}(1) = 0.5$ и стоимости неправильных решений $c_{01} = c_{10}$, вероятности ошибок в КС^(i,j) принимают вид [3]

$$P_e^{(i,j)} = P_{лт}^{(i,j)} = P_{пр}^{(i,j)} = \left[1 - \Phi_0 \left(\frac{q^{(i,j)}}{2\sqrt{2}} \right) \right] \quad (2)$$

где $\Phi(\cdot)$ – интеграл вероятности; $q^{(i,j)}$ – отношение «сигнал/шум» в КС_{i,j}.

Множество значений вероятностей ошибок в КС на графе $G(N, M)$ задается матрицей весов, $\mathbf{W} = \| w^{(i,j)} \|$, $i, j = \overline{1, N}$.

Если упорядочить множество ребер входящих в маршрут $\mu_s(i, j) = (\beta_1, \beta_1, \dots, \beta_R)$ между абонентом i и потребителем j вероятность ошибки на маршруте $\mu_s(i, j)$ определяется

$$P_e[\mu_s(i, j)] = \prod_{r=1}^R P_e(\beta_r), \beta_r \in \mu_s(i, j), r = \overline{1, R} \quad (3)$$

где R – количество ветвей графа G входящих в маршрут $\mu_s(i, j)$; $P_e(\beta_r)$ – вероятность ошибки передачи информации по ребру β_r .

Правило выбора оптимального маршрута при передаче информации от абонента i и потребителю j можно представить в виде

$$\mu_{opt}(i, j) = \operatorname{arcsmin} \left\{ P_e[\mu_s(i, j)] \right\}, s = \overline{1, S} \quad (4)$$

где $s \in S$, множество возможных маршрутов передачи данных между абонентом i и потребителем j .

Для выбора путей с наименьшим значением вероятности ошибки применим алгоритм определения кратчайшего пути Декстры [5]. В качестве показателя эффективности работы сети используется соответствие вероятности ошибки передачи информации по маршруту требуемому значению

$$P_e[\mu_s(i, j)] \leq P_e^{\Delta}, \quad (5)$$

где P_e^d – допустимое значение вероятности ошибки.

Подавление КС сети БЛА осуществляется с подвижного постановщика помех (ПП). Эволюции векторов фазовых координат ПП и БЛА задаются уравнениями [6]

$$\mathbf{x}_k^{(i)} = \mathbf{f}(\mathbf{A}_{k,k-1}^{(i)}, \mathbf{x}_{k,k-1}^{(i)}, \mathbf{u}_k^{(i)}) + \mathbf{n}_{\mathbf{x},k-1}^{(i)}, \mathbf{x}_0^{(i)} = \mathbf{x}^{(i)}, i = \overline{1, N}; \quad (6)$$

$$\mathbf{x}_k^{(p)} = \mathbf{f}(\mathbf{A}_{k,k-1}^{(p)}, \mathbf{x}_{k,k-1}^{(p)}, \mathbf{u}_k^{(p)}) + \mathbf{n}_{\mathbf{x},k-1}^{(p)}, \mathbf{x}_0^{(p)} = \mathbf{x}^{(p)}, \quad (7)$$

где $\mathbf{f}(\mathbf{A}_{k,k-1}^{(i)}, \mathbf{x}_{k,k-1}^{(i)}, \mathbf{u}_k^{(i)})$ – переходная матрица размера $(n \times n)$; $\mathbf{n}_{\mathbf{x},k-1}^{(i)}$ – вектор возмущений размера $(n \times 1)$, с матрицей дисперсии $\mathbf{R}_{\mathbf{x},k}^{(i)}$ $(n \times n)$; $\mathbf{u}_k^{(i)}$ – вектор управляющих воздействий $(m \times 1)$; $\mathbf{x}^{(i)}$ – вектор начальных значения в момент времени $k=0$. Параметры в выражениях (6) и (7) аналогичны по физическому смыслу.

Значение отношение «сигнал/шум» на входе приемника БЛА_{*j*} при передаче данных от БЛА_{*i*} и воздействии помех с постановщика помех (ПП) p имеет вид [4]:

$$\left(q^{(i,j)}\right)^{-1} = \frac{P^{(p)}}{P^{(i)}} \left(\frac{l^{(i,j)}}{l^{(p,j)}} \right)^2 \frac{\Delta f_{\text{пр}}^{(j)}}{\Delta F_{\text{п}}^{(p)}} \frac{L^{(i,j)}}{L^{(p,j)}} \frac{G^{(p,j)} G_{\text{пр}}^{(p,j)}}{G^{(i,j)} G_{\text{пр}}^{(i,j)}}, i, j = \overline{1, N} \quad (8)$$

где $P^{(p)}$, $P^{(i)}$ – средние мощности передатчиков ПП и БЛА_{*i*}; $G^{(i,j)}$ – коэффициент усиления (КУ) передающей антенны передатчика БЛА_{*i*} в направлении на приемник БЛА_{*j*}; $G^{(p,j)}$ – КУ антенны ПП в направлении на БЛА_{*j*}; $G_{\text{пр}}^{(i,j)}$ – КУ приемной антенны БЛА_{*j*} в направлении на передатчик БЛА_{*i*}; $G_{\text{пр}}^{(p,j)}$ – КУ приемной антенны БЛА_{*j*} в направлении на ПП; $L^{(i,j)}$, $L^{(p,j)}$ – коэффициенты, учитывающие дополнительные потери в КС $^{(i,j)}$ и ослабление сигнала помехи в направлении на БЛА_{*j*} сверх потерь при распространении в свободном пространстве; $\Delta f_{\text{пр}}^{(j)}$ – полоса пропускания приемника БЛА_{*j*}; $\Delta F_{\text{п}}^{(p)}$ – ширина спектра помехи ПП; $l^{(i,j)}$ – расстояние между БЛА_{*i*} и БЛА_{*j*}; $l^{(p,j)}$ – расстояние между ПП_{*p*} и БЛА_{*j*}.

Таким образом, уравнения (6), (7) задают начальную топологию сети $\mathbf{x}_0^{(i)}$, $i = \overline{1, N}$, а так же траектории движения БЛА $\mathbf{x}_k^{(i)}$, $i = \overline{1, N}$ и ПП $\mathbf{x}_k^{(p)}$. С использованием (8) – рассчитываются значения отношений «сигнал/шум» в КС сети $q^{(i,j)}$ и далее – значения вероятностей ошибок передачи информации в КС $P_e^{(i,j)}$ (2), на основе которых формируется матрица весов $P_e^{(i,j)} \rightarrow w^{(i,j)}$, $\mathbf{W} = \| w^{(i,j)} \|$ графа G . Выражения (3), (4) определяют правило формирования оптимального маршрута передачи информации по сети.

На основе полученной модели (2) – (8) проводилось моделирование воздействия помех на КС группы БЛА $N = 4$ в соответствии с тактической ситуацией, представленной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Вариант подавления КС БЛА с использованием ЛА ППП

При моделировании рассматривается процесс передачи информации от БЛА₁ к БЛА₄, то есть от УС₁ к УС₄ по маршрутам: 1 – (УС₁ – УС₄); 2 – (УС₁ – УС₂ – УС₄); 3 – (УС₁ – УС₃ – УС₄); 4 – с использованием оптимального маршрута. Предполагается, что энергетический потенциал (ЭП) ППП превышает БЛА в 3 раза. Параметры аппаратуры передачи данных всех БЛА равны. Расстояние между БЛА $7 \cdot 10^3$

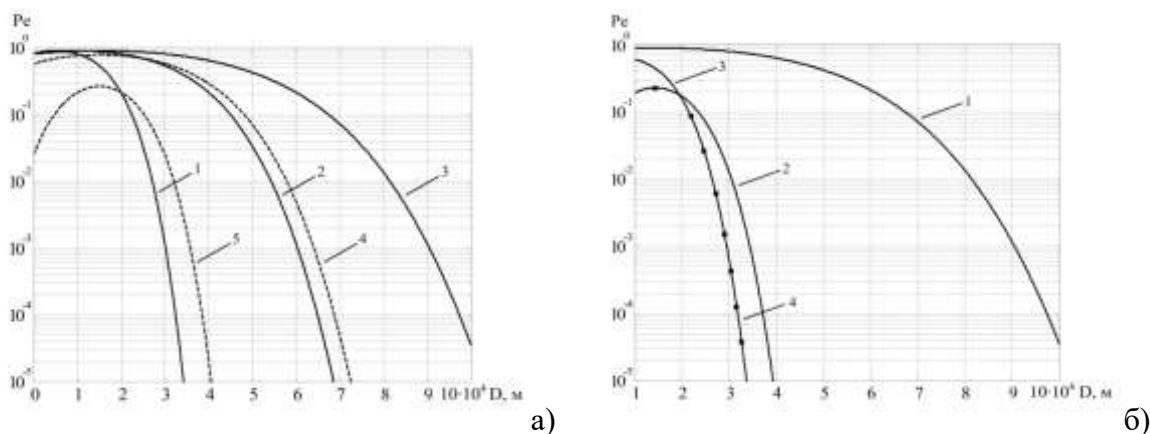


Рисунок 3 – Зависимости вероятностей ошибок от дальности до ППП: а) – в каналах связи сети (1 – КС12; 2 – КС13; 3 – КС14; 4 – КС24; 5 – КС34); б) – на маршрутах (1; 2; 3; 4 – оптимальный)

Анализ зависимостей на рисунке 3а показывает, что только при расположении ППП на дальности $D_{\text{П}} \geq 92$ до км относительно БЛА₁ обеспечиваются требуемые характеристики передачи информации ($P_e \leq 10^{-3}$) по прямому КС₁₄. Подавление КС₁₃ и КС₂₄ осуществляется на дальностях $D_{\text{П}} \leq 60...65$ км, КС₁₂ и КС₃₄ на $D_{\text{П}} \leq 30...35$ км.

При организации связи между БЛА₁ и БЛА₄ с использованием транзитных узлов (маршруты 2 и 3), обеспечивается передача информации с требуемыми характеристиками на $D_{\text{П}} \geq 30$ км (кривая 3) и 35 км (кривая 2) рисунок 3б. Кривая 4 на рисунке 3б отображает значение ошибки при оптимальном формировании маршрута с

использованием критерия (3). На дальности до ПП от 100 до 20 км используется маршрут 3, далее маршрут – 2.

Выводы

Разработанная модель маршрутизации обеспечивает формирование маршрутов передачи данных с минимальными ошибками из возможных. Анализ полученных зависимостей показывает, что использование протоколов оптимальной маршрутизации позволяет снизить дальность подавления БЛА₄ с 92 до 30 км (дальность между БЛА₄ и ПП при этом составляет порядка 25 км).

Вхождение ПП в боевые прядки БЛА или их сопровождение на удалении порядка на $D_{\text{п}} = 20...30$ км обеспечивает гарантированное КС подавление сети связи БЛА. Возможным способом помехозащиты в данном случае является управление траекториями отдельных БЛА с целью создания конфигурации сети минимизирующей воздействие помех, а так же организация выхода отдельных БЛА из зон действия помех и для передачи информации на ПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: РИЦ «Школа», 2015. 444 с.
2. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. СПб.: ВАС, 2006. 184 с.
3. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983. 320 с.
4. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2006. 958 с.
6. Канащенко А.И., Меркулов В.И. Авиационные системы радиуправления Т.1 Принципы построения систем радиуправления. Основы синтеза и анализа. М.: Радиотехника, 2003. 418 с.

П.А. ФЕДЮНИН доктор технических наук, профессор, начальник кафедры (управления воинскими частями связи и радиотехнического обеспечения авиации) ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)
А.Г. ИВАНУТКИН кандидат военных наук, доцент кафедры (управления воинскими частями связи и радиотехнического обеспечения авиации) ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛЁТНЫХ ПРОВЕРОК НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Современные боевые действия характеризуются скоротечностью, являются высокоманевренными и проходят в условиях оперативно меняющейся тактической (оперативно-тактической обстановке). Характер подобного тактического (оперативно-тактического) фона диктует необходимость круглосуточного и всепогодного применения авиации как с подготовленных в радиотехническом отношении аэродромов, так и необорудованных. В связи с этим предъявляются высокие требования по своевременности организации и осуществления радиотехнического обеспечения (РТО) на данных аэродромах.

Анализ применения оперативно-тактической авиации в локальных вооруженных конфликтах последнего времени показал, что при выполнении задач в условиях горной местности обеспечение экипажей достоверной радионавигационной информацией крайне недостаточное, а в некоторых случаях ее использование практически невозможно [1].

Для оценки соответствия параметров и характеристик средств связи и РТО полетов требованиям нормативно-технической документации и определения их способности обеспечивать полеты воздушных судов (ВС) в соответствии со своим предназначением проводится летная проверка средств связи и радиотехнического обеспечения полетов.

Исходя из анализа состава мобильной компоненты системы РТО следует, что она не в состоянии развернуть средства по полной схеме в минимальные сроки так, чтобы новый аэродром был предназначен для осуществления взлета и посадки при минимуме погоды [2]. Причиной этому является то, что на вооружении подразделений связи и РТО находятся средства обеспечения инструментального захода самолетов на посадку, которые требуют при развертывании на новой позиции проведения летной проверки. В соответствии с требованиями руководящих документов по безопасности полетов использование для обеспечения полетов радиотехнических средств не прошедших летную проверку запрещено [3]. Как правило, летная проверка средств связи и РТО организуется и проводится непосредственно в авиационных формированиях в соответствии с заявками. Летную проверку некоторых средств РТО, например, стартовых командных пунктов, радиолокационных систем

посадки, приводных радиостанций, радиолокационных средств, светосигнального оборудования можно производить боевым или учебно-боевым самолетом, но проверку средств инструментального захода летательных аппаратов на посадку необходимо проводить специальным самолетом-лабораторией. Такие летные проверки заранее планируются и проводятся только в определенные сроки, указанные в плане проведения летных проверок. Данное обстоятельство негативно влияет на своевременность подготовки новых аэродромов в радиотехническом отношении. Поэтому полевые аэродромы, аэродромные участки дорог (АУД) оборудуются силами и средствами мобильных подразделений связи и РТО только приводными радиостанциями и радиолокационными системами посадки. Данные аэродромы будут пригодны в радиотехническом отношении для взлета и посадки только в простых и сложных метеоусловиях. Поэтому приоритетным направлением повышения своевременности РТО полетов авиации является уменьшение времени на подготовку системы РТО аэродромов к приему экипажей.

В ВВС проверку средств инструментального захода ВС на посадку необходимо проводить специальным самолетом-лабораторией. Для проведения лётных проверок на аэродромах ВВС используются воздушные суда-лаборатории типа АН-26, оборудованные аппаратурой лётного контроля КПА-ЭС-1 и АСЛК-75, разработанной на рубеже 70-80-х годов прошлого столетия.

Аппаратура КПА-ЭС-1 и АСЛК-75 построена на устаревшей элементной базе, имеет низкую надёжность, недостаточную точность и достоверность измерений, отсутствует возможность получения результатов измерений в реальном масштабе времени и оценки электромагнитной обстановки.

Всё это делает лётные проверки крайне не эффективными и как следствие отрицательно влияет на безопасность полётов.

Для обеспечения эффективного проведения лётных проверок была проведена модернизация автоматизированной системы лётного контроля АСЛК-75 в рамках НИР «Арнаут». Модернизированный комплекс АСЛК-75М-04 предназначен для выполнения всех видов летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов авиации.

Летные проверки заранее планируются и проводятся только в определенные сроки, указанные в плане проведения летных проверок. Данное обстоятельство негативно влияет на своевременность подготовки новых аэродромов в радиотехническом отношении, особенно в условиях меняющейся оперативной обстановки. Поэтому приоритетным направлением повышения своевременности РТО полетов авиации является уменьшение времени на подготовку системы РТО аэродромов к приему экипажей.

Для проведения летных проверок средств РТО на аэродромах предлагается включить в состав частей оперативно-тактической авиации комплекс проведения лётных проверок на базе звена управляемых беспилотных вертолетов (КПЛУВ). В качестве такого БЛА предлагается использовать беспилотный вертолет (БВ),

способный выполнять полет по заранее заданному маршруту облёта и оснащенного необходимым оборудованием.

В последние годы значительно вырос интерес к использованию беспилотных вертолетов. Это объясняется достижениями вертолетостроения в области конструкции, технологии и систем управления, позволившими существенно улучшить летно-технические и весовые характеристики машин и тем самым повысить эффективность их использования. При этом немаловажное значение имеют существенные преимущества беспилотных вертолетов по сравнению с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) других схем. В первую очередь это:

- возможность без аэродромного применения и отсутствие сложного стартового-посадочного оборудования;

- уменьшение продолжительности подготовки к повторному полету (за счет исключения времени на укладку и установку посадочного парашюта, на установку стартовых пороховых ускорителей и т. п.);

- возможность висения и полета на малых и околонулевых скоростях;

- уникальная возможность маневрирования.

Комплекс проведения лётных проверок (КПЛУВ) должен обеспечивать выполнения всех видов летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов авиации, в том числе: курсовых, глиссадных и дальномерных (маркерных) радиомаячных систем инструментального захода воздушных судов на посадку типа ПРМГ, СП-50, и ILS; средств радиотехнической системы посадки ОСП; радиомаяков ближней навигации типа РСБН, VOR/DME; отдельных приводных радиостанций; автоматических радиопеленгаторов; радиолокационных систем управления воздушным движением, в том числе радиолокационных систем посадки (РСП) и моноимпульсных вторичных радиолокаторов (МВРЛ); светосигнального оборудования аэродромов; микроволновой системы посадки типа MLS.

Управление вертолетом должно осуществляться оператором с помощью ЭВМ, в ней же и будет обрабатываться получаемая в реальном масштабе времени информация и выдаваться на печать готовый документ в виде акта летной проверки радиотехнического средства. Данный БЛА предлагается использовать также для рекогносцировки местности, где планируется развертывание средств РТО, что существенно сократит время этапа планирования радиотехнического обеспечения в новом районе, а также района развертывания средств РНП. Кроме того, БЛА предлагается также использовать для обеспечения экипажей радионавигационной информации и в полосе действий авиации.

Основные требования к комплексу проведения лётных проверок:

- возможность применения комплексов днем и ночью в условиях возможного огневого, радиоэлектронного и информационного противодействия противника;

- сохранение работоспособности и аэродинамической устойчивости БЛА в условиях воздействия отрицательных факторов природного и техногенного характера;

- комплекс должен быть интегрирован в единую автоматизированную систему информационного обеспечения ВС РФ;

совместимость с наземными ПУ по обработке информации, обеспечиваемая применением унифицированных протоколов обмена данными, общими принципами построения системы связи и передачи данных;

возможность управления БЛА и приема информации при прямой радиовидимости и с использованием ретрансляторов;

использование высокоскоростных, широкополосных, помехоустойчивых, защищенных каналов связи для передачи данных и приема команд управления;

обеспечение электромагнитной совместимости, а также группового информационного обмена между БЛА при выполнении задач в едином районе;

возможность одновременного применения и управления требуемым количеством БЛА комплекса;

обеспечение рационального сочетания автоматического и автоматизированного управления БЛА;

оснащение бортовой навигационной аппаратурой потребителя спутниковых систем типа GPS, ГЛОНАСС и др.;

оснащение аппаратурой государственного опознавания «свой-чужой»;

максимально возможная унификация процессов обслуживания комплексов, а также обучения боевых расчетов.

Комплекс должен обеспечивать или вывод в заданную точку висения при использовании на БВ спутниковой навигационной системы со среднеквадратическим значением бокового отклонения от заданной прямолинейной траектории (отклонения от заданной точки висения) не более 5 м.

В состав БЛА должны входить: планер, силовая установка с несущим винтом, бортовое оборудование общего назначения (система электропитания бортовой аппаратуры, система автоматического управления, бортовая аппаратура радиопередачи, кабельная сеть), бортовое целевое оборудование (БЦО).

БВ должен обеспечивать:

полет по маршруту, заданному прямоугольными координатами поворотных точек и высотой полета, в соответствии с законом автоматической стабилизации и управления, заложенного в системе автоматического управления;

включение, выключение и переключение режимов работы БЦО в соответствии с программой и задачами полета или по командам с наземного пункта управления (НПУ);

стабилизацию своего углового положения на участках полета и в режиме висения с требуемой среднеквадратической погрешностью по крену, тангажу и курсу;

перемещение в режиме висения не более 200 м, при этом скорость БВ должна быть не более 1 м/с при скорости ветра до 20 м/с;

погрешность стабилизации высоты при работе по цели не более 3%;

в режиме висения разворот по курсу в пределах от минус 360 до плюс 360°, кратковременный (до 45 с) поворот вокруг поперечной оси на угол тангажа до минус 15°;

разворот на угол курса 90° без изменения направления движения (полет вбок);

автоматическую посадку на площадку размерами 50x50 м;

при отказе двигательной установки посадку в режиме авторотации.

В аварийных ситуациях при отказах БЦО или радиолинии связи с НПУ должна быть предусмотрена возможность возврата БВ в заданный район посадки. В боевых условиях при невозможности возврата БВ должна быть предусмотрена команда ликвидации. При этом должны обеспечиваться надежный запуск двигателя БВ на высотах до 2500 м над уровнем моря; продолжительность полета БВ не менее 2 часов, из них в режиме висения не менее 1 ч; максимальная скорость полета БВ не менее 140 км/ч.

Таким образом, применение беспилотных вертолетов, обладающих предложенными характеристиками позволит осуществить подготовку аэродромов государственной авиации в радиотехническом отношении скрытно и в короткие сроки, а также организовать в заданном районе систему радионавигационных пунктов в полосе действия авиации с возможностью дистанционного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Локальные войны и вооруженные конфликты конца XX – начала XXI века: Информационно-аналитический обзор / П.В.Иванишин [и др.]; под общ. ред. И.А. Мисурагина. – Минск: Изд-во «Типография учреждения образования «ВА РБ», 2007. – с. 141.
2. Ивануткин А.Г., Сурков В.В. Анализ проведения летных проверок средств связи и радиотехнического обеспечения на аэродромах государственной авиации / Сборник статей всероссийской НТК молодых ученых, слушателей и курсантов, посвященной дню образования Войск связи. – Воронеж: 2015. – С. 30-32.
3. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь». – М.: «Изд-во стандартов», 2007 г, с.30.

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПОЛЁТАХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ СЕРИИ SUPERCAM В СЛОЖНЫХ МЕТЕО- УСЛОВИЯХ ДЛЯ КАРТОГРАФИИ И ВИДЕОРАЗВЕДКИ

Современные технологии получения оперативной информации по наземной обстановке, дислокации и перемещениях объектов на земной поверхности в значительной степени определяются техническими характеристиками летательных аппаратов, применяемых для аэрофотосъёмки, а также установленным на них оборудованием. При этом с каждым годом растёт роль беспилотных летательных аппаратов (БЛА), которые в полной мере удовлетворяют требованиям безопасности эксплуатации, оперативного реагирования, высокого качества получаемой информации и прочее. В то же время перечисленные аспекты являются предметом конкуренции среди производителей БЛА и задают направления дальнейшего их совершенствования.

Разработанные группой компаний «Беспилотные системы» БЛА серии Supercam (рисунок 1) обладают высокой надёжностью и стабильностью автоматического полёта на протяжении от 2 до 7 часов в зависимости от модификации БЛА. Высота полёта летательных аппаратов может варьироваться от 100 до 5000 м над уровнем моря. Тестовые полёты на больших высотах проводились летом 2015 года и показали высокую стабильность всех систем комплекса на эшелонах, которые прежде были доступны лишь аппаратам с двигателем внутреннего сгорания. Вся линейка БЛА серии Supercam имеет исключительно электрические двигатели на основе литий-полимерных аккумуляторов, а высокая продолжительность и высота полёта достигаются за счёт особой конструкции крыла и применяемых материалов. Также фирма-производитель имеет патент на механизм отстёгивающихся консолей крыла в случае жёсткой посадки БЛА, что предохраняет корпус от поломок и даёт гарантию срока службы одного борта как минимум на 300 взлётов\посадок. В качестве механизмов взлёта для данного вида аппаратов применяются эластичная катапульта и складная пневматическая катапульта. Таким образом, БЛА с электрическим двигателем не требуют наличия взлётно-посадочной полосы, что в купе с низким уровнем шума даёт им значительное преимущество перед БЛА с бензиновым двигателем для разведывательных целей.

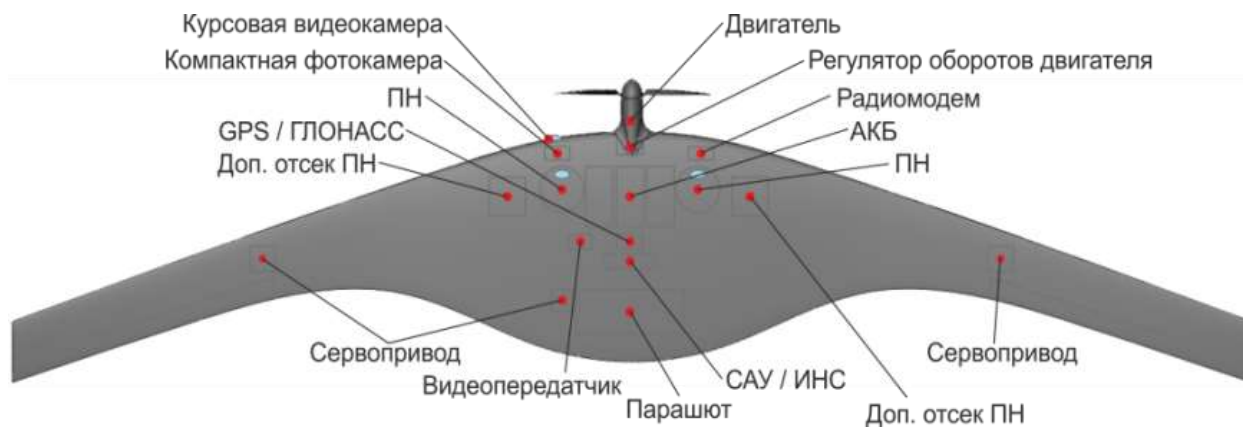


Рисунок 1 – Конструкция БЛА Supercam-350 с продолжительностью полёта до 4 часов

С каждым годом спрос на услуги по мониторингу земной поверхности комплексами БЛА лёгкого типа (до 15 кг) растёт. Об этом свидетельствует статистика: БЛА серии Supercam за 2014 г. осуществили около 1200 рабочих полётов, за 2015 г. – более 1500. При этом каждый полёт записывается на наземную станцию управления (НСУ), после чего передаётся в общую базу данных; все нештатные ситуации подробно разбираются и учитываются при дальнейшей модернизации комплексов. Благодаря этому, собран большой объём информации о случаях обледенения БЛА, полётах при сильном ветре, в различных климатических зонах, в горной местности.

При проведении работ во время тумана, дождя, снега, с температурой на рабочей высоте ниже $+4^{\circ}\text{C}$ возможно обледенение БЛА. Под обледенением обычно понимают образование льда на лобовых кромках и выступающих частях аппарата. Наиболее подвержены обледенению лопасти винта, передняя кромка крыла, выступающие элементы полезной нагрузки, а также элевоны, управляющие БЛА во время полёта (рисунок 2). Наледь, образуемая на корпусе, ведёт к увеличению массы и разбалансировке аппарата, что приводит к постепенной потере воздушной скорости и высоты, вплоть до полной потери контроля над БЛА. Для снижения вероятности обледенения возможна обработка наружной поверхности аппарата водоталкивающей жидкостью, однако опыт показывает, что в силу особых условий полёта БЛА данная мера эффективна лишь в 50% случаев. По этой причине разработан строгий алгоритм действий оператора при появлении признаков обледенения борта.

Признаки обледенения:

увеличение тангажа, до значений $7^{\circ} - 9^{\circ}$ (рабочее положение $3^{\circ} - 5^{\circ}$);

увеличение уровня газа, до значений 70 – 80 % (рабочий уровень 35 – 65 %);

увеличение кривизны тангажа до 100 – 150 единиц (рабочее положение ± 60 единиц);

самолёт не может удерживать заданную высоту, либо проваливается по высоте.

При появлении незначительных признаков обледенения необходимо снизить высоту полёта, при ухудшении работы необходимо:

включить режим «Фиксированный газ»;

для поддержания заданной высоты полёта добавить обороты двигателя (~ до 60%); вернуть аппарат на точку старта и произвести посадку.



Рисунок 2 – Обледенение поверхности крыла БЛА

За 2015 год было зафиксировано порядка 500 случаев обледенения БЛА серии Supercam, большинство из которых произошло в зимнее время в условиях крайнего севера и Сибири. При этом в 60% этих случаев БЛА удавалось до конца выполнить полётное задание. Этому способствовало, как правило, самостоятельное освобождение БЛА от наледи за счёт встречных потоков воздуха, после выхода аппарата из зоны обледенения. Такие зоны могут располагаться либо над незастывшими водоёмами, где резко возрастает влажность воздуха, либо при пролёте отдельных облаков. Лишь в 6 случаях обледенение было критическим, и посадка производилась вне зоны видимости оператора.

В летнее время, а также в переходные сезоны в качестве неблагоприятного фактора для полётов БЛА на смену обледенения приходят сильные ветра и ливневые осадки. Согласно статистике, в 2/3 всех полётов за тёплый период БЛА серии Supercam приходится сталкиваться с ветрами 9 – 15 м\с и более. Специально разработанная форма крыла позволяет БЛА двигаться по заданному маршруту при любом направлении ветра. Максимальная зафиксированная во время полёта скорость ветра составляет 21 м\с. Но даже в этом случае, когда борт летит «назад» относительно земной поверхности под силой встречного ветра, он сохраняет рабочее положение и способен маневрировать.

Рекомендации по управлению БЛА при сильном ветре:

необходимо создавать полётное задание таким образом, чтобы возврат борта осуществлялся по ветру;

во время холостого хода при встречном ветре постараться изменить курс БЛА для достижения максимальной скорости в заданном направлении;

поворотные точки полётного задания стараться выносить за пределы маршрута, чтобы борт не сносило ветром с траектории съёмки при изменении направления полёта;

при силе ветра близкой к 15 м\с необходимо либо снизить высоту полёта БЛА, либо осуществить возврат на точку старта и посадить борт.

Также разработана специальная инструкция действий оператора в случае ливневых осадков фронтального характера. При попадании в зону сильного дождя или снегопада в результате воздействия на борт происходит резкий провал по высоте. Как следствие, автопилот БЛА увеличивает обороты двигателя и поднимает элевоны для сохранения заданной высоты полёта. Все эти изменения оператор наблюдает в окне авионики на НСУ и принимает решение – целесообразно ли продолжение полёта при неблагоприятных условиях съёмки или нет. Кроме снижения качества съёмки обильные осадки могут стать причиной засорения трубки приёмника воздушного давления (ПВД). Это случается в одном случае из десяти, но сильно препятствует полёту БЛА.

Признаки засорения трубки ПВД:

уровень газа 100%;

большая разница между воздушной и путевой скоростью;

ошибка ПВД составляет от ± 10 м/с до ± 15 м/с.

При таких условиях необходимо включить режим «фиксированный газ», осуществить возврат и посадку БЛА.

Многолетний сбор и обработка статистических данных позволяет судить не только о лётных качествах лёгких беспилотных аппаратов, но и о способности производить высокоточную съёмку земной поверхности.

Использование БЛА в качестве полноценного инструмента для геодезии и картографии является важным аспектом, как для гражданского, так и военного ведомства. Так, кроме цифровой фотокамеры высокого разрешения БЛА серии Supercam могут быть оснащены высокоточным геодезическим приёмником и спутниковой антенной. Такой вариант комплекса прошёл испытания в апреле 2014 года, где силами компании «Газпром аэрокосмические системы» на испытательном полигоне для проведения аэрофотосъёмочных работ МИИГАиКа были проведены контрольные испытания. В качестве съёмочных камер использованы цифровые фотоаппараты – Sony NEX-5R (20 мм) и Sony NEX-7R (35 мм). Для определения центров проекции снимков на борту установлены двухчастотные геодезические приёмники «Javad» с авиационной антенной. Цель тестовых полётов – определение точности и надёжности получения центров проекции в полёте и ресурса аэрофотосъёмочного комплекса при выполнении площадной съёмки и съёмки линейного объекта.

Фотограмметрическая обработка результатов аэрофотосъёмки выполнена ЦФС «Photoscan». Высокоточные центры проекции вычислены в программе «Justin».

Параметры аэрофотосъёмки на участок №1 были следующие: площадь участка 14 км² борт «Supercam-250», съёмочная камера Sony NEX-7R (20 мм), высота фотографирования 250 м, размер пикселя на земле 3.3 см, число снимков 5532, маршрутов 28, время выполнения полётного задания 3 часа.

При построении и уравнивании блока аэрофотоснимков для участка №1, где в качестве опорных данных использованы только центры проекции, а 67 опознаков как контрольные точки получены следующие средние квадратические погрешности: по оси X – 7.7 см, по оси Y – 8.4 см, по Z – 14.2 см.

Проведённые контрольно-испытательные полёты позволили сделать следующие выводы: за один полёт БЛА (3 – 3,5 часа полёта) по результатам аэрофото съёмки можно создать ортофотопланы масштаба 1:500 на площадь до 12 – 15 км² и масштаба 1:2000 – на площадь до 100 – 120 км², при этом в качестве опорного обоснования достаточно использовать только центры проекции определённые в полёте.

Также испытания на точность материалов аэрофото съёмки проводились в сравнении с данными наземного лазерного сканирования, проводимого компанией «Беспилотные технологии» г. Новосибирск совместно с Сибирским государственным университетом геосистем и технологий (СГУГиТ). В результате был сделан вывод, что точки цифровой модели местности, полученные в результате фотограмметрической обработки снимков, прилегающие к поверхности земли и отстоящие от высотных объектов на некотором расстоянии, имеют точность цифровой модели рельефа, достаточную для съёмки с сечением рельефа 0,5 метра.

Современные БЛА лёгкого класса марки Supercam обладают достаточной прочностью и аэродинамическими качествами, чтобы выполнять полёты в сложных метеоусловиях, производить взлёт\посадку в любой неподготовленной местности. Время и высота полёта летательных аппаратов Supercam близки к показателям более мощных и габаритных аналогов с бензиновым двигателем. А получаемые фото и видеоматериалы делают БЛА полноценным надёжным и точным инструментом сбора и обработки картографической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курков В М; Опыт работы по тестированию аэрофото съёмочных комплексов на испытательном полигоне МИИГАиК
2. Курков Владимир Михайлович, доцент кафедры фотограмметрии МИИГАиК, г. Москва
3. Шинкевич М. В., Воробьева Н. Г, Алтынцев М. А., Попов Р. А., Арбузов С. А., Флоров А. В., Оценка точности плотной цифровой модели поверхности и ортофотопланов, полученных по материалам аэрофото съёмки с БЛА серии Supercam. Геоматика г. Москва.

С.А. ТАШКОВ начальник кафедры боевого маневрирования авиационных комплексов ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

Р.Р. ШАТОВКИН доктор технических наук, старший преподаватель кафедры боевого маневрирования авиационных комплексов ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

МОДЕЛИРОВАНИЕ «ДРЕЙФА НУЛЯ» АКСЕЛЕРОМЕТРА И ГИРОСКОПА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Проведенные экспериментальные исследования показали, что шумы измерения продольной, боковой и нормальной составляющих вектора ускорения беспилотного летательного аппарата (БЛА) акселерометром и продольной, боковой и нормальной составляющих вектора угловой скорости БЛА гироскопом можно описать соответствующими моделями, представляющими собой гауссовские законы распределения с соответствующими параметрами, и описываемые выражениями:

для измеряемых акселерометром составляющих вектора ускорения БЛА:

$$f(a_x^{aи}) = \frac{1}{\sigma_{a_x}^{aи} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_x^{aи} - m_{a_x}^{aи} \right)^2}{2\sigma_{a_x}^{aи2}} \right\}; \quad (1)$$

$$f(a_y^{aи}) = \frac{1}{\sigma_{a_y}^{aи} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_y^{aи} - m_{a_y}^{aи} \right)^2}{2\sigma_{a_y}^{aи2}} \right\}; \quad (2)$$

$$f(a_z^{aи}) = \frac{1}{\sigma_{a_z}^{aи} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_z^{aи} - m_{a_z}^{aи} \right)^2}{2\sigma_{a_z}^{aи2}} \right\}, \quad (3)$$

где математические ожидания $m_{a_x}^{aи} = 0$ м/с², $m_{a_y}^{aи} = 1$ м/с², $m_{a_z}^{aи} = 10$ м/с² и среднеквадратические отклонения (СКО) $\sigma_{a_x}^{aи} = 4,3$ м/с², $\sigma_{a_y}^{aи} = 2,5$ м/с², $\sigma_{a_z}^{aи} = 8$ м/с²;

для измеряемых гироскопом составляющих вектора угловой скорости БЛА:

$$f(\omega_x^{\Gamma и}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_x}^{\Gamma и} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_x^{\Gamma и} - m_{\omega_x}^{\Gamma и} \right)^2}{2\sigma_{\omega_x}^{\Gamma и2}} \right\}; \quad (4)$$

$$f(\omega_y^{\Gamma И}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_y}^{\Gamma И} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\omega_y^{\Gamma И} - m_{\omega_y}^{\Gamma И})^2}{2\sigma_{\omega_y}^{\Gamma И 2}} \right\}; \quad (5)$$

$$f(\omega_z^{\Gamma И}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_z}^{\Gamma И} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\omega_z^{\Gamma И} - m_{\omega_z}^{\Gamma И})^2}{2\sigma_{\omega_z}^{\Gamma И 2}} \right\}, \quad (6)$$

где математические ожидания $m_{\omega_x}^{\Gamma И} = -0,136$ рад/с, $m_{\omega_y}^{\Gamma И} = 0,064$ рад/с, $m_{\omega_z}^{\Gamma И} = 0,012$ рад/с и СКО $\sigma_{\omega_x}^{\Gamma И} = 0,16$ рад/с, $\sigma_{\omega_y}^{\Gamma И} = 0,13$ рад/с, $\sigma_{\omega_z}^{\Gamma И} = 0,09$ рад/с.

Отличие математических ожиданий от нуля большинства представленных гауссовских законов распределения во многом обусловлено наличием, так называемого, «дрейфа нуля» измерителей. Описание данного процесса, в свою очередь, требует разработки моделей «дрейфа нуля» акселерометра и гироскопа.

Каждый из шумов измерения исследуемого параметра движения БЛА, по сути, является аддитивной смесью шума регистрации этого параметра соответствующим измерителем и шумом, обусловленным, так называемым, «дрейфом нуля» [1]:

$$n_{a_x}^{a И} = n_{a_x}^{a \text{рег}} + n_{a_x}^{a \text{др}}; \quad (7)$$

$$n_{a_y}^{a И} = n_{a_y}^{a \text{рег}} + n_{a_y}^{a \text{др}}; \quad (8)$$

$$n_{a_z}^{a И} = n_{a_z}^{a \text{рег}} + n_{a_z}^{a \text{др}}; \quad (9)$$

$$n_{\omega_x}^{\Gamma И} = n_{\omega_x}^{\Gamma \text{рег}} + n_{\omega_x}^{\Gamma \text{др}}; \quad (10)$$

$$n_{\omega_y}^{\Gamma И} = n_{\omega_y}^{\Gamma \text{рег}} + n_{\omega_y}^{\Gamma \text{др}}; \quad (11)$$

$$n_{\omega_z}^{\Gamma И} = n_{\omega_z}^{\Gamma \text{рег}} + n_{\omega_z}^{\Gamma \text{др}}, \quad (12)$$

где $n_{a_x}^{a И}$, $n_{a_y}^{a И}$, $n_{a_z}^{a И}$, $n_{\omega_x}^{\Gamma И}$, $n_{\omega_y}^{\Gamma И}$, $n_{\omega_z}^{\Gamma И}$ – шумы измерения продольной, боковой и нормальной составляющих, соответственно, векторов ускорения и угловой скорости БЛА акселерометром и гироскопом; $n_{a_x}^{a \text{рег}}$, $n_{a_y}^{a \text{рег}}$, $n_{a_z}^{a \text{рег}}$, $n_{\omega_x}^{\Gamma \text{рег}}$, $n_{\omega_y}^{\Gamma \text{рег}}$, $n_{\omega_z}^{\Gamma \text{рег}}$ – шумы регистрации продольной, боковой и нормальной составляющих, соответственно, векторов ускорения и угловой скорости БЛА акселерометром и гироскопом; $n_{a_x}^{a \text{др}}$, $n_{a_y}^{a \text{др}}$, $n_{a_z}^{a \text{др}}$, $n_{\omega_x}^{\Gamma \text{др}}$, $n_{\omega_y}^{\Gamma \text{др}}$, $n_{\omega_z}^{\Gamma \text{др}}$ – шумы, описывающие «дрейф нуля» акселерометра и гироскопа при измерении продольной, боковой и нормальной составляющих векторов ускорения и угловой скорости БЛА, соответственно.

Шумы регистрации, обусловленные точностью оцифровки измеряемых значе-

ний параметров движения БЛА, также имеют гауссовские законы распределения с нулевыми математическими ожиданиями и СКО, равными 1/3 погрешностей регистрации. Анализ технических характеристик акселерометра и гироскопа в составе MPU-6000 показал, что СКО регистрации параметров составляют: $\sigma_{a_x}^{a\text{рег}} = \sigma_{a_y}^{a\text{рег}} = \sigma_{a_z}^{a\text{рег}} = 1,99 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$; $\sigma_{\omega_x}^{r\text{рег}} = \sigma_{\omega_y}^{r\text{рег}} = \sigma_{\omega_z}^{r\text{рег}} = 0,442 \cdot 10^{-4} \text{ рад/с}$ [2].

Кроме того, шумы регистрации и шумы, описывающие «дрейф нуля», для каждого исследуемого параметра движения БЛА некоррелированы во времени и независимы вследствие различной физической природы их возникновения.

В этом случае, в соответствии с центральной предельной теоремой, шумы, описывающие «дрейф нуля» акселерометра и двух гироскопов, имеют гауссовские законы распределения. Причем, математические ожидания законов распределения этих шумов равны разностям математических ожиданий шумов измерения и математических ожиданий шумов регистрации соответствующих исследуемых параметров движения БЛА. Аналогично, дисперсии законов распределения шумов, описывающих «дрейф нуля», равны разностям дисперсий шумов измерения и дисперсий шумов регистрации соответствующих исследуемых параметров движения БЛА [3].

Тогда шумы, описывающие «дрейф нуля» акселерометра и двух гироскопов, характеризуются следующими плотностями распределения вероятностей:

при измерении продольной составляющей вектора ускорения акселерометром на интервале принимаемых этим параметром значений $[-15,258;20,555] \text{ м/с}^2$:

$$f(a_x^{a\text{дрп}}) = \frac{1}{\sigma_{a_x}^{a\text{дрп}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_x^{a\text{дрп}} - m_{a_x}^{a\text{дрп}} \right)^2}{2\sigma_{a_x}^{a\text{дрп}^2}} \right\}, \quad (13)$$

где математическое ожидание $m_{a_x}^{a\text{дрп}} = m_{a_x}^{a\text{и}} - m_{a_x}^{a\text{рег}} = 0 \text{ м/с}^2$ и

$$\text{СКО } \sigma_{a_x}^{a\text{дрп}} = \sqrt{\sigma_{a_x}^{a\text{и}^2} - \sigma_{a_x}^{a\text{рег}^2}} = \sqrt{4,3^2 - (5,98 \cdot 10^{-4} / 3)^2} = 4,299 \text{ м/с}^2;$$

- при измерении боковой составляющей вектора ускорения акселерометром на интервале принимаемых этим параметром значений $[-14,155;15,44] \text{ м/с}^2$:

$$f(a_y^{a\text{дрп}}) = \frac{1}{\sigma_{a_y}^{a\text{дрп}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_y^{a\text{дрп}} - m_{a_y}^{a\text{дрп}} \right)^2}{2\sigma_{a_y}^{a\text{дрп}^2}} \right\}, \quad (14)$$

где математическое ожидание $m_{a_y}^{a\text{дрп}} = m_{a_y}^{a\text{и}} - m_{a_y}^{a\text{рег}} = 1 - 0 = 1 \text{ м/с}^2$ и

$$\text{СКО } \sigma_{a_y}^{a\text{дрп}} = \sqrt{\sigma_{a_y}^{a\text{и}^2} - \sigma_{a_y}^{a\text{рег}^2}} = \sqrt{2,5^2 - (5,98 \cdot 10^{-4} / 3)^2} = 2,499 \text{ м/с}^2;$$

- при измерении нормальной составляющей вектора ускорения акселеромет-

ром на интервале принимаемых этим параметром значений $[-31,932; 38,942]$ м/с²:

$$f(a_{az}^{a\text{дп}}) = \frac{1}{\sigma_{a_z}^{a\text{дп}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(a_{az}^{a\text{дп}} - m_{a_z}^{a\text{дп}}\right)^2}{2\sigma_{a_z}^{a\text{дп}^2}} \right\}, \quad (15)$$

где математическое ожидание $m_{a_z}^{a\text{дп}} = m_{a_z}^{a\text{и}} - m_{a_z}^{a\text{пер}} = 10 - 0 = 10$ м/с² и СКО

$$\sigma_{a_z}^{a\text{дп}} = \sqrt{\sigma_{a_z}^{a\text{и}^2} - \sigma_{a_z}^{a\text{пер}^2}} = \sqrt{8^2 - (5,98 \cdot 10^{-4} / 3)^2} = 7,999 \text{ м/с}^2;$$

при измерении продольной составляющей вектора угловой скорости гироскопом на интервале принимаемых этим параметром значений $[-1,286; 1,091]$ рад/с:

$$f(\omega_x^{\text{г дп}}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_x}^{\text{г дп}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_x^{\text{г дп}} - m_{\omega_x}^{\text{г дп}}\right)^2}{2\sigma_{\omega_x}^{\text{г дп}^2}} \right\}, \quad (16)$$

где математическое ожидание $m_{\omega_x}^{\text{г дп}} = m_{\omega_x}^{\text{г и}} - m_{\omega_x}^{\text{г пер}} = -0,136 - 0 = -0,136$ рад/с и СКО

$$\sigma_{\omega_x}^{\text{г дп}} = \sqrt{\sigma_{\omega_x}^{\text{г и}^2} - \sigma_{\omega_x}^{\text{г пер}^2}} = \sqrt{0,16^2 - (1,326 \cdot 10^{-4} / 3)^2} = 0,159 \text{ рад/с};$$

при измерении боковой составляющей вектора угловой скорости гироскопом на интервале принимаемых этим параметром значений $[-0,666; 0,8]$ рад/с:

$$f(\omega_y^{\text{г дп}}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_y}^{\text{г дп}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_y^{\text{г дп}} - m_{\omega_y}^{\text{г дп}}\right)^2}{2\sigma_{\omega_y}^{\text{г дп}^2}} \right\}, \quad (17)$$

где математическое ожидание $m_{\omega_y}^{\text{г дп}} = m_{\omega_y}^{\text{г и}} - m_{\omega_y}^{\text{г пер}} = 0,064 - 0 = 0,064$ рад/с и СКО

$$\sigma_{\omega_y}^{\text{г дп}} = \sqrt{\sigma_{\omega_y}^{\text{г и}^2} - \sigma_{\omega_y}^{\text{г пер}^2}} = \sqrt{0,13^2 - (1,326 \cdot 10^{-4} / 3)^2} = 0,129 \text{ рад/с};$$

при измерении нормальной составляющей вектора угловой скорости гироскопом на интервале принимаемых этим параметром значений $[-0,465; 0,473]$ рад/с:

$$f(\omega_z^{\text{г дп}}) = \frac{1}{\sigma_{\omega_z}^{\text{г дп}} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left(\omega_z^{\text{г дп}} - m_{\omega_z}^{\text{г дп}}\right)^2}{2\sigma_{\omega_z}^{\text{г дп}^2}} \right\}, \quad (18)$$

где математическое ожидание $m_{\omega_z}^{\text{г дп}} = m_{\omega_z}^{\text{г и}} - m_{\omega_z}^{\text{г пер}} = 0,012 - 0 = 0,012$ рад/с и СКО

$$\sigma_{\omega_z}^{\text{г дп}} = \sqrt{\sigma_{\omega_z}^{\text{г и}^2} - \sigma_{\omega_z}^{\text{г пер}^2}} = \sqrt{0,09^2 - (1,326 \cdot 10^{-4} / 3)^2} = 0,089 \text{ рад/с}.$$

Таким образом, «дрейф нуля» акселерометра и гироскопа описывается соот-

ветствующими моделями, представленными выражениями (13)–(15) – при измерении продольной, боковой и нормальной составляющих вектора ускорения БЛА, и выражениями (16)–(18) – при измерении продольной, боковой и нормальной составляющих вектора угловой скорости БЛА.

Кроме того, при синтезе математической модели полного (поступательного и вращательного) движения БЛА следует учитывать постоянные внешние воздействия, компенсирующие ненулевые математические ожидания соответствующих шумов измерения, обусловленные «дрейфом нуля» используемых в алгоритме обработки информации измерителей – акселерометра и гироскопа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: примеры и задачи / под ред. проф. В.И. Тихонова. М.: Советское радио, 1980. 544 с.
2. MPU-6000/MPU-6050 Product Specification. Revision 3.2. Sunnyvale: Component Distributors Inc., 2011. 57 p.
3. Мильграм Ю.Г., Слабкий Л.И. Основы экспериментальных исследований (Техника физического эксперимента и статистические основы экспериментальных исследований и оценок) / под ред. Ю.Г. Мильграма. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1983. 403 с.

Научное издание
ДОКЛАДЫ И СТАТЬИ ЕЖЕГОДНОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ»

Ответственные за выпуск: к.т.н. Бодров А.С., Безденежных С.И.
Материалы статей и докладов опубликованы в авторской редакции.