

**ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ
СИЛ «ВОЕННО-ВОЗДУШНАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ
ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО И Ю.А. ГАГАРИНА»
(Г. ВОРОНЕЖ)**

**9 факультет Авиационного оборудования;
Кафедра №92 Автоматизации управления летательными аппаратами
(и вычислительных систем);**

Название работы:

«Система беспилотных летательных аппаратов для сбора информации в условиях ограниченного пространства для манёвров»;

Авторы:

1. Курсант 9 факультета АО Хоменко Кирилл Александрович;
2. Преподаватель 92 кафедры кандидат педагогических наук подполковник Акулов Олег Юрьевич.

Форма обучения: очная;

Специальность обучения, курс, учебная группа:

«Техническая эксплуатация и восстановление электросистем и пилотажно-навигационных комплексов боевых летательных аппаратов», 5 курс, учебная группа 21-64;

Научный руководитель: кандидат педагогических наук подполковник Акулов О.Ю.;

Место (город) и год написания работы: Российская Федерация, г. Воронеж, 2021 год.

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений и специальных терминов.....	3
Введение.....	4
1 Обзор зарубежных и отечественных БПЛА.....	6
1.1 Зарубежные образцы БПЛА.....	6
1.2 Отечественные образцы БПЛА.....	10
2 Система беспилотных летательных аппаратов для сбора информации в условиях ограниченного пространства для маневра....	13
2.1 Варианты совмещения БПЛА разных классов	13
2.2 Контейнер для микро-БПЛА.....	14
2.3 Tактический средневысотный БПЛА-носитель с большой продолжительностью полета «Сириус».....	15
2.4 Микро-БПЛА «Веер».....	17
2.5 Расчет времени установления стационарного обтекания капсулы с микро-БПЛА.....	19
3 Область применения системы.....	22
4 Методика оценки разведывательных возможностей БПЛА.....	24
Заключение	32
Список использованных источников	34

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

GA-ASI	– General Atomics Aeronautical Systems
AUVSI	– Association for Unmanned Vehicle Systems International
FLIR	– Forward-Looking InfraRed
FMI	– Field manual interim
GPS	– Global Position System
HD	– High Definition
IFF	– Identification friend or foe
MAM	– Smart Micro Munition
TAI	– Turkish Aerospace Industries
TEI	– Turkish Engine Industries
БАК	– Беспилотный авиационный комплекс
БАРС	– Беспилотная авиационная разведывательная система
БАС	– Беспилотная авиационная система
БЛА	– Беспилотный летающий аппарат
БПЛА	– Беспилотный летающий аппарат
ВВС	– Военно-воздушные силы
ВВТ	– Вооружение и военная техника
ВМС	– Военно-морские силы
ГТД	– Газотурбинный двигатель
ЗРК	– Зенитно-ракетный комплекс
ИГИЛ	– террористическая организация «Исламское государство»
ЛА	– Летательный аппарат
МО	– Министерство обороны
МРЦ	– Малоразмерная цель
МЧС	– Министерство чрезвычайных ситуаций
ПВО	– Противовоздушная оборона
РГД	– ручная противопехотная наступательная граната.
РЛС	– Радиолокационная станция
РФ	– Российская Федерация
САР	– Сирийско-Арабская Республика
ССО	– Силы специальных операций
США	– Соединенные Штаты Америки
ТВД	– Турбовинтовой двигатель
ТТХ	– Тактико-технические характеристики
УАБ	– Управляемая авиационная бомба
ЭПР	– эффективная поверхность рассеяния

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент перспективы развития беспилотной авиации (БПЛА военного назначения) обусловлены многими факторами. Прежде всего, неизменно растущей ценой самолетов и вертолетов, увеличением стоимости обучения пилотов для них – в то время как для решения достаточно широкого круга задач наличие человека сегодня не является обязательным. По этой причине тенденция к росту боевых вылетов БПЛА в будущем сохранится. Применение беспилотников дает возможность запрограммировать полностью автономный полет по маршруту, и если нужно, зависнуть над местностью, что дает БПЛА огромное преимущество.

По различным характеристикам, Международной ассоциацией по беспилотным системам AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International), БПЛА были классифицированы (Таблица 1).

Таблица 1 – Классификация БПЛА согласно AUVSI

Группа	Категория		Взлетная масса, кг	Дальность полета, км	Высота полета, м	Продолжительность полета, ч
	Название: на русском	На английском				
Малые БПЛА	Нано-БПЛА	Nano	< 0,025	< 1	100	1
	Микро-БПЛА	Micro	<5	< 10	250	1
Нано-БПЛА	Мини-БПЛА	Mini	5-150	< 10	150-300	<2
Тактические	Легкие БПЛА для контроля переднего края обороны	Close Range (CR)	25-150	10-30	3000	2-4
	Легкие БПЛА с малой дальностью полета	Short Range (SR)	50-250	30-70	3000	3-6
	Средние БПЛА	Medium Range (MR)	150-500	70-200	5000	6-10
	Средние БПЛА с большой продолжительностью полета	Medium Range Endurance (MRE)	500-1500	>500	8000	10-18
	Маловысотные БПЛА для проникновения в глубину обороны противника	Low Altitude Deep Penetration (LADP)	250-2500	>250	50-9000	0,5-1
	Маловысотные БПЛА с большой продолжительностью полета	Low Altitude Long Endurance (LALE)	15-25	>500	3000	>24
	Средневысотные БПЛА с большой продолжительностью полета	Medium Altitude Long Endurance (MALE)	1000-1500	>500	5000-8000	24-48
Стратегические	Высотные БПЛА с большой продолжительностью полета	High Altitude Long Endurance (HALE)	2500-5000	>2000	20000	24-48
	Боевые (ударные) БПЛА	Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAV)	>1000	1500	12000	2
Специального назначения	БПЛА, оснащенные боевой частью (летального действия)	Lethal (LET) (Offensive)		300	4000	3-4
	БПЛА - ложные цели	Decoys (DEC)	150-500	0-500	50-5000	<4
	Стратосферные БПЛА	Stratospheric (STRA)	>2500	>2000	>20000	>48
	Экстратосферные БПЛА	Exo-stratospheric (EXO)	-	-	> 30500	-

БПЛА военного типа показали и доказали свою эффективность в нескольких крупных вооруженных конфликтах – войне правительственных войск Сирийско-Арабской Республики (САР) против террористов Исламского государства (ИГИЛ), где беспилотные аппараты использовались как непосредственно участниками конфликта, так и сторонними государствами (США, Турция, Израиль, Россия, Иран); конфликте между Арменией и Азербайджаном за контроль над Нагорным Карабахом; Все большее распространение БПЛА привело и к созданию средств противодействия данным системам. К сожалению, Россия пока не входит в список лидеров по разработкам в области беспилотной авиации, но государство уже значительно увеличило финансирование разработок и перспективных проектов в этом направлении [1].

Беспилотная авиация развивается многогранно: для логистики важны такие характеристики как надежность и грузоподъемность, для картографов качество снимков и высота полета, для спецслужб – полезная нагрузка, маневренность, мобильность. В военной сфере отдельно беспилотники практически не используют, а применяют комплексно – Министерство Обороны интересуют беспилотные авиационные системы, которые могут совмещать в себе множество возможностей для выполнения тех или иных задач.

В данной научной работе мы ставим перед собой цель – разработать систему беспилотных летательных аппаратов для решения задачи сбора информации в условиях ограниченного пространства для маневров. На современном этапе развития авиастроения, новейшие образцы БПЛА отечественного производства проходят испытания, в связи с этим их ТТХ частично засекречены и, поэтому в своей научной работе мы условно разработаем систему БПЛА на основе имеющихся данных об отечественных образцах ВВТ.

1 ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БПЛА

1.1 Зарубежные образцы БПЛА

1) FLIR Systems, Inc в 2018 году представила нано-БПЛА FLIR Black Hornet PRS (Black Hornet 3) (рис.1). Это очередное поколение Black Hornet. Данный нано-БПЛА позволяет поддерживать ситуационную осведомлённость, оперативно выявлять угрозы и вести наблюдение в заданиях любой сложности.

Характеристики Black Hornet 3:

- Длина БПЛА – 168 мм;
- Длина винта – 123 мм;
- Макс. время полета – 25 минут;
- Максимальная дальность полета – 2 км;
- Фото/видео камера (сменные);
- Тепловизор (фото/видео, съемные);
- Сменная АКБ;
- Температурный режим – от -10 до +43 °С;
- Работа при силе ветра 7,7 м/с (с порывами до 10 м/с);
- Выдерживает легкий дождь



Рисунок 1 – Дрон Black Hornet 3 на станции VRS

Black Hornet VRS — пусковая установка для одновременного запуска нескольких систем Black Hornet, монтируемая снаружи и полностью интегрированная в транспортное средство для создания бортовой системы RSTA с информированием о ситуации в реальном времени для экипажей, находящихся внутри машины. Данный дрон принят на вооружение у армий и ССО более чем в 30 разных странах мира [2].

2) Турция успешно разработала, испытала и приняла на вооружение БПЛА Anka-S (рис.2) компании TAI (Turkish Aerospace Industries). Этот БПЛА эксплуатируется в ВВС Турции с 2017 года. БПЛА разработан для выполнения разведки, наблюдения, распознавания целей и обнаружения.

Общая грузоподъемность его составляет 200 кг, которая включает в себя систему идентификации «свой-чужой» (IFF), лазерный целеуказатель, лазерный искатель и вооружение: микро-боеприпас Rokestan (MAM-L), ракетный пусковой комплекс воздушного запуска и ракета CIRIT 2.75in с лазерным наведением.



Рисунок 2 – TAI Anka-S

Anka-S оснащен турбовинтовым двигателем PD170 мощностью

150 л.с., созданным дочерней компанией Turkish Engine Industries (TEI). Максимальная взлетная масса составляет 1600 кг, максимальная высота полета 9 км, продолжительность полета более 1 суток [3].

3) С 2009 года ВМС США используют Northrop Grumman MQ-8B Fire Scout (рис.3). Всего на вооружении находятся более 300 экземпляров. Кроме того, уже ведется работа над новой модификацией этого БПЛА. MQ-8B используются для патрулирования и наблюдения за обстановкой в особых районах. Fire Scout может быть вооружен и атаковать наземные и надводные цели.



Рисунок 3 – MQ-8B Fire Scout

Диаметр несущего винта – 8.38 м, длина и высота фюзеляжа 7.3 м и 2.87 м, масса пустого 940 кг, а взлетная 1430 кг. Двигатель используется ГТД Rolls-Royce 250-C20W с мощностью 310 кВт, развивающий максимальную скорость 213 км/ч, при крейсерской 210 км/ч. Радиус действия данного

БПЛА 204 км, а продолжительность полета порядка 8 часов. Практический потолок применения 6096 м.

За счет топливных баков большего объема планируется довести максимальную продолжительность патрулирования до 14 часов [4].

4) Predator C Avenger — это беспилотный летательный аппарат, разработанный GA - ASI. Первый полет БПЛА состоялся весной 2009 года. Его максимальный взлетный вес составляет 8255 кг.



Рисунок 4 - Predator C Avenger

Способен нести несколько полезных нагрузок: датчиков, прикрепленных к его жестким креплениям крыла, его внутренний отсек для оружия может нести большие датчики до 1588 кг. Общая грузоподъемность самолета составляет 2948 кг. Его полезная нагрузка включает ракеты Hellfire, управляемые бомбы GBU-12/49, бомбы с лазерным наведением, совместные боеприпасы GBU-31, GBU-38 (JDMA), GBU-39 и бомбы GBU-16/48(рис.4).

Predator C Avenger предлагает более высокие скорости, чем самолеты Predator B. Приводимый в действие ТВД Pratt&Whitney PW545B, БПЛА

способен достигать высот до 15 км. Аппарат показал максимальную скорость в 740 км/ч и выносливость 20 часов [5].

1.2 Отечественные образцы БПЛА

1) "Альтиус-РУ" (рис.5) – это разведывательно-ударный беспилотник с большой продолжительностью полета, у которого планер выполнен по нормальной аэродинамической схеме с крылом большого размаха и V-образным оперением, аналогично БПЛА «Орион», но с двумя двигателями под крылом. Машина при этом оказалась практически полностью композитной. Металлическими остались только моторамы. Это позволило вместить в планер тяжёлое радиоэлектронное оборудование — от оптики и радиолокатора бокового обзора до других средств, предусмотренных не только разведывательной версией.

20 августа 2019 года на сайте МО РФ появилось видео первого испытания «Альтиус-РУ» в полностью автоматическом режиме. БПЛА произвёл взлёт, 32 минуты выполнял определенные манёвры в небе, после чего совершил посадку.



Рисунок 5 – БПЛА «Альтиус-РУ»

Характеристики: мощность взлетная - 373 кВт (500 л.с.), мощность максимальная непрерывная - 480 л.с., длина – 1,1 м, ширина – 0,74 м, ширина по выхлопные патрубки – 0,85 м, высота – 0,7 м, объем - 6134 см³. ТТХ: крейсерская скорость – 150-250 км/ч, максимальная высота полета – 12 км, полезная нагрузка – 1 т (у гражданской версии 2 т), взлетная масса - до 5 т (7 т у гражданской версии), дальность полета - до 10 000 км, продолжительность полета - 48 часов, длина - 11,6 м, размах крыла - 28,5 м, размах оперения - 6 м.

2) БПЛА "ZALA Ланцет" (рис.6) — это интеллектуальное многозадачное оружие. Оснащен телевизионным каналом связи, который передает изображение в режиме реального времени и позволяет увидеть поражение цели.

В условиях новых боевых действий БПЛА способен наносить удары в воздухе, на земле и воде, а по эффективности эта система превосходит стандартные виды вооружений, но стоит несоизмеримо меньше.

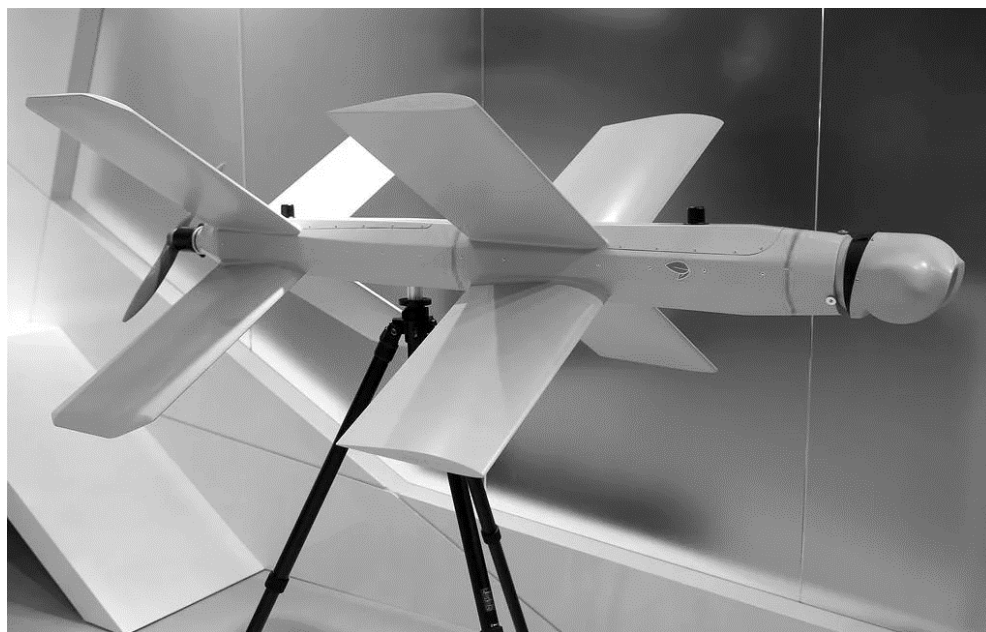


Рисунок 6 – ZALA Ланцет-3 (дрон-камикадзе)

3) БАК "Орион" (рис.7) – данный беспилотный комплекс прошел испытания в Сирии, во время которых он проводил разведку и наносил ракетные удары по позициям террористов.



Рисунок 7 – Беспилотный авиационный комплекс «Орион»

Комплекс «Орион» разрабатывается по проекту «Иноходец» с 2011 года. Максимальная взлетная масса аппарата составляет 1200 кг, максимальная продолжительность его полета – 30 часов, а максимальная высота — около 8 км. Беспилотный аппарат может нести боевую нагрузку массой до 450 кг. В частности «Орион» может нести четыре ракеты. В таком варианте БПЛА проходил испытания в Сирии. Один комплекс «Орион» в зависимости от требований заказчика может содержать от трех до шести аппаратов. Кроме того, компания "Кронштадт" (разработчик) работает над новой модификацией "Ориона", которая будет мониторить состояние, тушить на начальной стадии лесные пожары и выполнять другие задачи МЧС [6].

2 СИСТЕМА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МАНЕВРА

Идея совмещения БПЛА разных классов заключается в следующем – тяжёлый БПЛА несёт на борту контейнер с комплектом БПЛА микро-класса и доставляет его в район выполнения задачи. Далее, в соответствии с задачей, с борта тактического БПЛА происходит запуск (сброс) микро-БПЛА, их включение и непосредственная работа. БПЛА-носитель продолжает оставаться в воздухе над районом выполнения задачи. Он производит сбор информации по защищенному каналу и обеспечивает управление теми БПЛА, которые были запущены. Микро-БПЛА одноразовые, тактический БПЛА используется многократно.

2.1 Варианты совмещения БПЛА разных классов

Рассмотрим четыре вариативных схемы компоновок системы:

а) Контейнер находится непосредственно в корпусе средневысотного БПЛА (с большой продолжительностью полета) (рис.8 а). Схема применяется для БПЛА с округлой носовой частью, так как другие виды существенно меняют аэродинамические свойства.

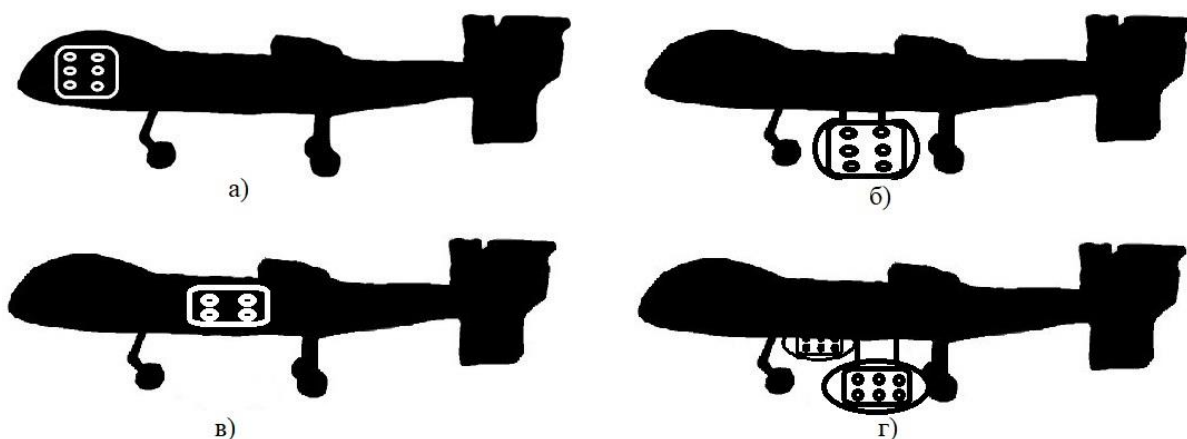


Рисунок 8 – Варианты компоновок тактического БПЛА

б) Контейнер прикрепляется с внешней стороны к «носителю» (рис.8 б). В таком случае необходимо применять обтекатели –

передний и задний, чтобы не произошло существенного ухудшения аэродинамических характеристик.

в) Контейнер находится внутри фюзеляжа средневысотного БПЛА. В данной компоновке количество нано- и микро-БПЛА более ограничено, по сравнению с другими видами (рис.8 в).

г) Контейнеры расположены на правой и левой плоскости крыла БПЛА. Этот вариант компоновки хорош тем, что количество переносимых нано- и микро-БПЛА увеличивается минимум в 2 раза, но при это ухудшаются и аэродинамические характеристики, а также увеличивается масса самого БПЛА-носителя (рис.8 г).

Компоновочный вариант размещения контейнера с микро БПЛА внутри БПЛА-носителя оптимален и имеет лучшие аэродинамические характеристики (по сравнению с наружным вариантом размещения).

2.2. Контейнер для микро-БПЛА

Сам контейнер будет иметь форму цилиндра. В контейнере по направляющим находятся «капсулы» с микро-БПЛА – (рис.9). В центре контейнера необходимое количество пороховых зарядов (зависит от количества капсул), по электрическому сигналу с «носителя» происходит их подрыв, и капсулы по направляющим разлетаются в разные стороны. При покидании контейнера капсула разрушается, освобождая микро-беспилотник. В случае, если за микро-БПЛА принимать квадрокоптер, то после разрушения капсулы его электроприводы должны перевести его из сложенного состояния в активное.

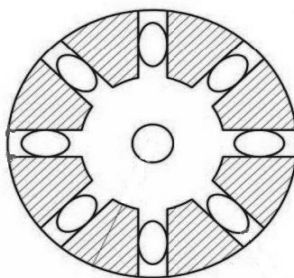


Рисунок 9 – Контейнер с капсулами для микро-БПЛА в разрезе

Возможный вариант исполнения капсул – две симметричные секции с пружинами между ними. Пример представлен на рисунке 10.

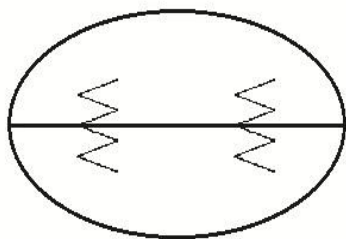


Рисунок 10 – Капсула с нано- или микро-БПЛА

В таком исполнении капсула целая во время нахождения в контейнере и движения по направляющим, но как только она покидает пределы контейнера - разрушается. Части капсулы разлетаются в стороны под действием пружин и освобождают летательный аппарат.

В качестве способа отделения капсул от БПЛА-носителя можно применять пороховой заряд. Запуск от порохового заряда довольно дешёвый и простой. При сгорании пороховых зарядов выделяется большое количество энергии, она идёт на нагрев воздуха. Так как в начальный момент времени процесс изохорный, то давление растёт прямо пропорционально и за короткий промежуток времени достигает большого значения, вследствие этого на капсулы действует значительная по величине сила, что заставляет их довольно быстро покинуть свою позицию.

2.3 Тактический средневысотный БПЛА-носитель с большой продолжительностью полета «Сириус»

Разработчик называет БПЛА «Сириус» следующей ступенью развития существующего аппарата «Орион». Отличие от «Ориона» в увеличении размеров и массы, изменении конструкции, а также в установке нового радиоэлектронного оснащения. Беспилотник сможет нести большой груз и работать на большем удалении от оператора.

«Сириус» представляет собой летательный аппарат нормальной

аэродинамической схемы с тонким фюзеляжем, прямым крылом большого размаха, V-образным оперением (рис.11). Силовая установка включает два турбовинтовых двигателя неназванного типа в мотогондолах под крылом. ТВД оснащены двухлопастными винтами.

В ходе изменения исходного планера размах крыла увеличился до 23 м, длина – до 9 м. Максимальная взлетная масса увеличилась до 2500 кг, из которых 1000 кг приходится на топливо. Полезная нагрузка – 450 кг. Масса сбрасываемого груза на внешней подвеске – 300 кг.

В настоящее время ведется разработка перспективной системы спутниковой связи для управления БПЛА нового поколения. Появление такой системы позволит сильно повысить ТТХ существующих БПЛА. Так, дальность работы «Сириуса» будет ограничиваться только запасом топлива на борту. Операторские пульта располагаются на универсальном мобильном пункте управления, совместимом с другими современными БПЛА разработки компании «Кронштадт».

Как и предшественник, новый «Сириус» предназначается для патрулирования и ведения разведки и картографирования местности в разных диапазонах. В боевой конфигурации он может наносить удары по наземным объектам, в том числе с обнаружением непосредственно перед атакой, а также контролировать результаты поражения. Возможно применение БПЛА для целеуказания различным огневым средствам [7].



Рисунок 11 – БПЛА «Сириус»

Данный БПЛА обладает большим запасом дальности полета, объемом полезной нагрузки и внутреннего пространства, где можно встроить или подвесить контейнер с несколькими микро- или нано-БПЛА.

2.4 Микро-БПЛА «Веер»

В качестве микро-аппарата примем новый БПЛА "Веер", который представляется компанией как складная многофункциональная платформа мультироторного типа (рис.12). Взлетная масса "Веера", включая полезную нагрузку, составляет 4 кг. Чтобы наглядно показать пример нагрузки специалисты прикрепили к корпусу аппарата макеты гранат Ф1 (600 гр) и РГД-5 (320 гр). Но в нашем случае задача микро-БПЛА - не доставка взрывчатых веществ, а разведка местности. Данный экземпляр передаёт видео в HD-качестве в реальном времени на расстоянии до 10 км от станции управления.

Характеристики микро-БПЛА «Веер»:

- радиус передачи HD-видео в реальном времени – 10 км;
- скорости полета на высоте - от 0 до 50 км/ч;
- навигация – GPS, ГЛОНАСС, курсовоздушная;
- максимальный взлетная масса – 4 кг;
- максимальная масса полезной нагрузки – до 1 кг;
- продолжительность полета – от 40 до 60 минут.



Рисунок 12 – микро-БПЛА «Веер» с подвеской гранат

Программное и аппаратное обеспечение позволяет использовать как обычные камеры, так и тепловые.

«Веер» обладает высокой маневренностью, низкой стоимостью, легкой настройкой, а самое главное состоит из полностью отечественных компонентов (в рамках импортозамещения).

Управление микро-БПЛА устанавливается в соответствии с поставленной задачей – автоматическим, полуавтоматическим или автономным. В зависимости от решаемой задачи и условий её выполнения, беспилотник может работать как один, так и в комплексе с другими [8].

2.5 Расчет времени установления стационарного обтекания капсулы с микро-БПЛА

Необходимо определить, успеет ли на направляющих контейнера установиться стационарное течение капсулы с микро-БПЛА, от этого будет известно, целесообразна ли схема, сможет ли беспилотник сработать таким образом и успеть стабилизироваться.

Ключевым этапом при расчёте аэродинамических характеристик является расчёт времени установления стационарного течения БПЛА, а рассчитав время, найдем требуемую длину направляющих. Когда будет установлено стационарное течение, движение микро-БПЛА можно считать устойчивым.

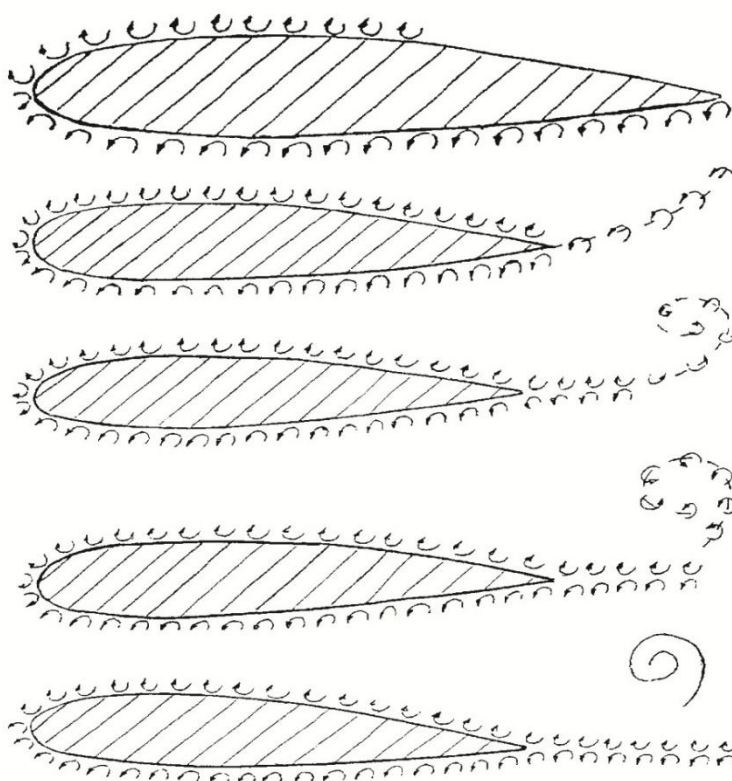


Рисунок 13 – Образование разгонного вихря

Как показано на рисунке 13, после начала движения тела, в данном случае капсулы с микро-БПЛА, вблизи передней критической точки возникают вихри.

При внезапном возникновении движения капсулы из состояния покоя,

возникающие на нижней поверхности вблизи передней кромки вихри, раньше достигают точки схода потока, которая вначале расположена на верхней поверхности, и сбегают с неё, в то время как вихри, перемещаются по верхней поверхности, ещё не достигли точки схода потока.

Пока вихри, перемещающиеся по верхней поверхности, достигнут точки схода потока, в свободном потоке за капсулой окажется некоторое количество вихрей, сбегавших с нижней поверхности. Следовательно, в течение некоторого времени после начала движения капсулы в потоке, за ней будет определённое количество вихрей с однонаправленной циркуляцией, образующих цепочку. Эта цепь неустойчива и, через некоторое время, сбегавшие с нижней поверхности капсулы вихри сворачиваются в дискретный вихрь, который и представляет собой разгонный вихрь.

Одновременно с описанным процессом точка схода потока с капсулы, находившаяся на верхней поверхности, перемещается к задней кромке капсулы, вследствие чего циркуляция равна суммарной циркуляции вихрей в пограничном слое в каждый момент времени.

В следующие моменты времени в свободный поток сбегают вихри с верхней и нижней поверхности капсулы одновременно. Общая циркуляция этих вихрей в среднем равна нулю и в дальнейшем дискретные вихри за капсулой не образуются.

При установившемся движении ЛА на его верхней и нижней поверхностях, располагается неодинаковое число вихрей, и суммарная циркуляция скорости вокруг капсулы получается отличной от нуля.

Время установления стационарных аэродинамических характеристик зависит от облика, габаритов летательного аппарата, скорости разгона, длины разгонного участка пусковой установки, а также от характеристик окружающей среды.

Время установления стационарного режима обтекания определяем по формуле [9]:

$$t = 0.351(a/v_p) \quad (1)$$

где a - радиус тела, v_p - скорость разгона.

Формула (1) справедлива для обтекания тел круглой формы.

Квадрокоптер имеет габариты 110x284x86 мм. Возьмём для него капсулу длиной 29 см и радиусом 15 см.

Скорость разгона возьмём примерно равную - 40 м/с.

$$t_s = 0.351(0.15/40) = 0.00131625 \text{ с}$$

Отсюда найдем длину направляющих:

$$0.00131625 \times 40 = 0.05265 \text{ м} \approx 5.2 \text{ см}$$

Полученный результат длины приемлем для конструкторского исполнения. И если направляющие будут больше 5,2 см, то можно сделать вывод, что режим стационарного обтекания микро-БПЛА наступит на участке его движения по направляющим, на которых нестационарность обтекания не влияет на движение летательного аппарата. Поэтому, условия старта летательного аппарата с борта носителя не влияют на аэродинамические характеристики капсулы и микро БПЛА.

3 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ

Предложенная система совмещенных БПЛА разных классов обширную область применения. Она может быть использована при обнаружении пожаров и очагов различных аварий в промышленных и жилых помещениях, сборе информации при таких опасных явлениях, как землетрясения, оползни, цунами, извержения вулканов и других чрезвычайных ситуациях, где вместо рабочих, служащих и специалистов можно задействовать данную систему. Незаметность и высокая маневренность микро-БПЛА, в комплексе с высокой дальностью тактических БПЛА позволяют применять систему в разведывательных целях различных спецслужб и армии.

Более конкретно можно объяснить на примере - систему возможно использовать для получения в режиме реального времени требуемой информации в случае внештатной ситуации на космодроме «Байконур» (рис.14), в частности, при неудачных запусках ракет, спутников и др.

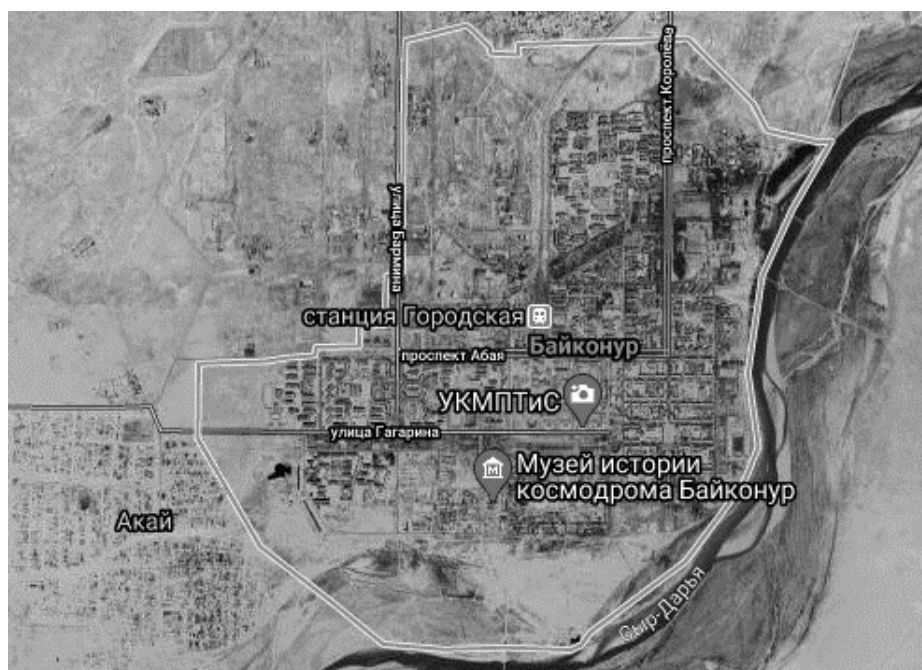


Рисунок 14 – Спутниковый снимок космодрома «Байконур»



Рисунок 15 – Схема космодрома «Байконур» (республика Казахстан)

Космодром «Байконур» занимает площадь 6717 км². Дальность полёта предполагаемой системы БПЛА – 7000 км - этого достаточно для прибытия в любую точку космодрома, проведения поисковых действий, сбора информации с помощью микро-БПЛА и отправки её через тактический БПЛА в центральные органы для дальнейших действий, в реальном времени. Именно скорейшее принятие действий очень важно на объектах подобного рода – это существенная экономия сил, средств и времени. База с предложенной системой БПЛА может находиться на любом аэродроме в черте космодрома (например, аэродром «Юбилейный»), также возможен запуск на любых других просторных открытых участках с ровной поверхностью для взлета.

4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БПЛА

В вооруженных конфликтах последнего десятилетия большое распространение получил класс малоразмерных воздушных целей. Основными представителями этого класса являются крылатые ракеты (КР), беспилотные летательные аппараты (БПЛА), 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 беспилотные летательные аппараты 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 БПЛА. Анализ состояния и развития армий иностранных государств говорит о том, что количество беспилотников в составе типовых общевойсковых формирований может составлять от нескольких штук до нескольких десятков [8].

Получение информации с помощью БПЛА о состоянии, точном местоположении и характере действий объектов в дальнейшем может привести к тому, что противником будут приняты контрмеры в отношении этих объектов. Например, вскрытые объекты могут быть подвержены огневому воздействию артиллерии или авиации. Уничтожение беспилотников-разведчиков или создание условий, препятствующих их эффективному применению, позволит снизить вероятность вскрытия

прикрываемых объектов и собственно зенитных формирований, тем самым лишая противника возможности эффективно применять наземные и воздушные средства поражения и позволит повысить предотвращенный ущерб общевойсковых формирований. В зависимости от технических характеристик самого летательного аппарата зависит тип установленной на него полезной нагрузки. В таблице 4 приведены современные варианты полезной нагрузки для тактических разведывательных БПЛА России.

Таблица 4 – Полезная нагрузка тактических разведывательных БПЛА

	<p>Гиростабилизированная оптико-электронная система ГОЭС-4 С её помощью возможна ретрансляция общего плана местности, контроль за обстановкой с тактического БПЛА. На данный момент полные ТТХ засекречены.</p>
	<p>Четырехосная гиростабилизированная оптико-электронная система «Гиалит» ГОЭС «Гиалит» оснащается следующими блоками:</p> <ul style="list-style-type: none"> • охлаждаемый тепловизор 3-5 мкм с трансфокатором (поля зрения: от 18,2° до 1,83°); • цветная телевизионная камера с трансфокатором (поля зрения: от 58,9° до 2,11°); • лазерный дальномер, 1,57 мкм (макс. дальность – 18000 м); • лазерный подсветчик, 1,06 мкм, 45 мДж, до 30 Гц.
	<p>Гиростабилизированная оптико-электронная система "Генезис КМ" Состав системы: - тепловизор с высоким разрешением - лазерный дальномер Система имеет малый вес за счет применения в конструкции легкого алюминиевого сплава; Вывод данных на монитор системы отображения; Опции: Подъемный механизм, модуль отслеживания цели, функциональный модуль GPS, лазерная подсветка, цифровая камера высокого разрешения</p>

Чаще всего полезную нагрузку тактических разведывательных БПЛА будут составлять системы оптических устройств, размещаемых либо непосредственно в корпусе беспилотника и жестко связанных с его конструкцией, либо с помощью гиростабилизированных 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.

Технические возможности nano- и микро-БПЛА 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 БПЛА зависит от ряда параметров. Эти параметры можно разделить на тактические и технические. К тактическим параметрам относятся:

- вид боевых действий;
- количество БПЛА 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 БПЛА выполняет боевую задачу (размер исполнительной зоны);
- размер области просмотра ОЭС;
- вероятность обнаружения объекта;
- технические характеристики планера БПЛА

Количество объектов, обнаруженных БПЛА за один вылет, может быть определено по формуле:

$$N_{об} = P_{обн} * \rho_{об} * S_{\Sigma}, \quad (2)$$

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 нано- и микро-БПЛА 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_e на фоне подстилающей поверхности, которая в свою очередь зависит от объема информации об искомом объекте. Если объем информации, отображаемый на экране пункта управления БПЛА достаточен для утверждения, что это именно тот объект, то $P_e=1$. Поэтому вероятность обнаружения объекта оптической системой БПЛА может быть определена по формуле:

$$P_{обн} = P_e * (1 - K_m) / (1 - \xi \eta), \quad (3)$$

где P_e – вероятность мгновенного выделения незамаскированного объекта на фоне подстилающей поверхности; K_m – коэффициент замаскированности объекта; ξ – степень правдоподобия ложных позиций; η – количество ложных позиций, приходящихся на одну действительную позицию.

В зависимости от обстановки облет исполнительной зоны может осуществляться несколькими разнотипными беспилотниками, поэтому в соответствии с [9] формула вероятности обнаружения приобретает вид:

$$P_{Nобн} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i), \quad (4)$$

где: N – количество аппаратов, осуществляющих облет исполнительной зоны; P_i – вероятность обнаружения объекта в исполнительной зоне i -м беспилотника.

В случае применения в одной исполнительной зоне нескольких однотипных БПЛА, вероятность обнаружения будет определяться как:

$$P_{N\text{обн}} = 1 - (1 - P_1)^N, \quad (5)$$

где P_1 – вероятность обнаружения объекта в исполнительной зоне одним беспилотника.

Вероятность выполнения полетного задания поисковым БПЛА определяется выражением:

$$P_{\text{вып}} = P_{\text{и}} * P_{\text{вых}} * P_{\text{пнф}} * P_{\text{обн}} * P_{\text{д}} * P_{\text{инф}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{и}}$ – вероятность исправности БПЛА в течении вылета; $P_{\text{вых}}$ – вероятность выхода БПЛА в район поиска; $P_{\text{пнф}}$ – вероятность преодоления БПЛА различных факторов (порывы ветра и т.д.); $P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения объекта поиска; $P_{\text{д}}$ – вероятность доставки информации; $P_{\text{инф}}$ – вероятность сохранения актуальности информации от момента получения до момента её передачи.

Вероятность преодоления неблагоприятных факторов определяется:

$$P_{\text{пнф}} = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t_{ni}}, \quad (7)$$

где λ_i – интенсивность воздействия i – го неблагоприятного фактора; t_{ni} – время воздействия на БПЛА i – го неблагоприятного фактора.

Найдем $P_{\text{инф}}$ при помощи формулы:

$$P_{\text{инф}} = e^{-\frac{T_{\text{обн}}}{T_{\text{ож}}}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{обн}}$ – время обнаружения и передачи данных; $T_{\text{ож}}$ – среднее время пребывания объекта разведки в данном месте;

Стоимость выполнения одного полетного задания определяется по формуле:

$$C_{1п} = \frac{C_{\text{БЛА}}}{N_{\text{пр}}} + C_{\text{др}}, \quad (9)$$

где $C_{\text{БЛА}}$ – стоимость нового БЛА; $N_{\text{пр}}$ – расчетное количество применений БЛА; $C_{\text{др}}$ – стоимость дополнительных расходов на 1 вылет.

Стоимость съема информации с единицы площади земной поверхности является универсальным критерием, так как позволяет оценить эффективность применения любого поискового БЛА с учетом его «выживаемости» и производительности целевой нагрузки:

$$C_{\text{и}} = \frac{C_{1п}}{P_p F_{\Sigma}^1}, \quad (10)$$

где F_{Σ}^1 – суммарная просматриваемая площадь земной поверхности за один вылет.

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:

$$\rho_{об} = n/S_{бд}, \quad (11)$$

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 беспилотник осуществляет разведывательный полет, зависит от технических особенностей оптической системы, установленной на нём, 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 БПЛА от исполнительной зоны (переднего края).

Размер исполнительной зоны S_{Σ} можно рассчитать по выражению:

$$S_{\Sigma} = D_{\text{прол}} * L_{\text{ш}}, \quad (12)$$

где $D_{\text{прол}}$ – расстояние от ближней до дальней границы исполнительной зоны; $L_{\text{ш}}$ – ширина области просмотра оптической системы.

$$D_{\text{прол}} = t_{\text{из}} * V_{\text{бпла}}, \quad (13)$$

где $t_{\text{из}}$ – время нахождения БПЛА в исполнительной зоне; $V_{\text{бпла}}$ – скорость полета БПЛА.

$$t_{\text{из}} = t_{\text{тгх}} - 2t_{\text{уд}}, \quad (14)$$

где $t_{\text{тгх}}$ – максимальное время нахождения БПЛА в полете, определяемое его техническими характеристиками; $t_{\text{уд}}$ – время, затрачиваемое БПЛА на полет от точки запуска до ближней границы исполнительной зоны.

$$t_{\text{уд}} = D_{\text{пу}} / V_{\text{бпла}}, \quad (15)$$

где $D_{\text{пу}}$ – удаление точки запуска беспилотного аппарата 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:

$$D_{\text{из}} \leq D_{\text{упр}}, \quad (16)$$

При отсутствии противодействия со стороны ПВО и мероприятий по

снижению заметности прикрываемых объектов, один разведывательный полет группировки нано- и микро-БПЛА 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 БПЛА 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 нано- и микро-БПЛА 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 беспилотного летательного аппарата позволяет корректно учесть их роль и место в системе информационного обеспечения, выявить характер и количественные показатели, влияющие на эффективность системы ПВО общевойскового формирования в условиях применения противником малоразмерных целей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлено решение научной задачи: сбора информации в условиях ограниченного пространства для манёвров, путем объединения БПЛА разных типов в единую систему. Были рассмотрены зарубежные и отечественные разработки БПЛА различных классов, отмечены особенности их характеристик.

Рассматриваемый в работе вариант использования БПЛА тактического класса с большой продолжительностью полета в системе с БПЛА микро-класса в полной мере совмещает свойства данных беспилотников. Недостаток манёвренности тактического БПЛА компенсирует БПЛА микро-класса, а ограниченность дальности полета микро-БПЛА решает его совмещение с тактическим БПЛА. С точки зрения аэродинамических характеристик оптимально будет разместить контейнер с микро-БПЛА в корпусе БПЛА-носителя (в носовой или фюзеляжной части). Воздушный запуск микро-беспилотников планируется производить с помощью порохового заряда в силу своей простоты и дешевизны.

Произведен анализ времени формирования стационарного обтекания для оценки целесообразности воздушного запуска. На основании анализа было установлено, что предлагаемые схема системы и конструкция пускового механизма перспективны для совмещения и применения. Время установления стационарного режима обтекания было рассчитано и равно $t_s = 0.00131625$ с, в соответствии с ним рассчитана минимальная длина направляющих равная ≈ 5.2 см, что в итоге, приемлемо для конструкторского исполнения.

Следовательно, система в целом, целесообразна и может применяться во многих отраслях, требующих в каких-либо ситуациях оперативный сбор различной информации в ограниченных для манёвров пространствах.

Как пример, в работе рассмотрена возможность сбора информации о любом чрезвычайном происшествии на космодроме «Байконур» с помощью

данной системы. Дальность полёта предполагаемой системы БПЛА - 7000 км - этого достаточно для прибытия в любую точку космодрома.

Данная разработка актуальна в современных реалиях, на её основе использование беспилотных летательных аппаратов в разведывательных целях может выйти на принципиально новый уровень развития.

Так же в работе представлена методика оценки разведывательных возможностей БПЛА, которая позволяет обосновать приоритетность и важность развития данного направления, а также некоторого примерного представления применения противником похожих систем беспилотников и варианты отражения данной агрессии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов; под ред. В.С. Фетисова –Уфа: ФОТОН, 2014. ил.;
- 2) ДроноМания: Электронный журнал о дронах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dronomania.ru/professionalnye/flir-black-hornet-prs.html>;
- 3) Военное Обозрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topwar.ru/114967-turciya-uspeshno-ispytala-novyy-bpla-anka-s.html>;
- 4) MQ-8B Fire Scout // Авиационная энциклопедия. Уголок неба. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/bpla/mq8b.html>;
- 5) ТОП10 лучших боевых дронов в мире. Часть III // Яндекс.Дзен – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/vooruzhenie/top10-luchshih-boevyh-dronov-v-mire-chast-iii-5d1d99937fbb2000ae39d192>;
- 6) Россия запустила серийное производство нового беспилотника "Орион"// Яндекс.Дзен – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/vooruzhenie/rossiia-zapustila-seriinoe-proizvodstvo-novogo-bespirotnika-orion-5d7b74633f548700ae87ccc8>;
- 7) Военное Обозрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topwar.ru/174560-perspektivnye-bpla-sirius-i-gelios.html>;
- 8) MIL.PRESS Военное [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://военное.рф/2019/ФорумАрмия47/>;
- 9) Николай Краснов Аэродинамика. Часть 2. Методы аэродинамического расчета: Москва Либроком 2010;
- 10) Сидорин и др. Вооруженные силы США в XXI веке/Сидорин А.Н., Прищепов В.М., Акуленко В.П., Военная книга, 2013;
- 11) FMI 3-04.155 «Army unmanned aircraft system operations headquarters, department of the army». 2006;
- 12) Злотников К.А., Кондратенко А.Г., Савченко О.И. 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 // Сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции "Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами". - Коломна: 924 Государственный центр беспилотной авиации Министерства Обороны Российской Федерации, 2016.