

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет среднего профессионального образования**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ПМ.03 Дистанционное пилотирование беспилотных воздушных судов  
смешанного типа**

**МДК.03.01 Дистанционное пилотирование беспилотных воздушных  
судов смешанного типа, обеспечение безопасности полетов**

**Специальность 25.02.08 Эксплуатация беспилотных авиационных систем**

**Форма обучения очная**

**Оренбург 2024 г.**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Организация самостоятельной работы	3
2. Общие подходы к этапам выполнения самостоятельной работы	4
3. Методические указания по изучению отдельных вопросов	6

## **4-5 семестры**

### **1. Организация самостоятельной работы**

#### **1.1. Организационно-методические данные дисциплины**

№ п.п	Наименование тем	Количество часов по видам самостоятельной работы		
		вопросы, выделенные на самостоятельное изучение (написание конспекта)	подготовка доклада	другие виды самостояте льной работы
1	Раздел 1. Эксплуатация беспилотных авиационных систем с воздушными судами смешанного типа	10		
2.	Раздел 2. Техническая эксплуатация беспилотных авиационных систем с воздушными судами смешанного типа	8		
	<b>Итого:</b>	<b>18</b>		

## **2. Общие подходы к этапам выполнения самостоятельной работы**

### **Основные виды самостоятельной работы студентов:**

1. Первичное овладение знаниями (усвоение нового материала):

- чтение дополнительной литературы;
- составление плана текста, конспектирование прочитанного;
- выписки из текста;
- ознакомление с нормативными документами.

2. Закрепление и систематизация знаний:

- работа с конспектами лекций;
- изучение нормативных документов;
- ответы на контрольные вопросы;
- подготовка к выступлению на занятиях.

3. Применение знаний, формирование умений:

- решение задач по образцу, вариативных задач;
- выполнение ситуационных производственных задач;
- выполнение индивидуальных заданий.

Основные этапы выполнения самостоятельной работы:

1. Изучить содержание задания.

2. Подобрать литературу для получения ответов на задания.

3. Составить план выполнения задания:

3.1. Выбрать вопросы для изучения.

3.2. Определить сроки выполнения задания.

3.3. Согласовать с преподавателями намеченный план

4. Выполнить составленный план.

5. Убедиться, что задание выполнено:

5.1. Оценить в полном ли объеме материал.

5.2. Обдумать собранную информацию, обобщите ее.

5.3. Выяснить дополнительные вопросы, возникшие в ходе выполнения задания.

5.4. Изложить результаты выполнения задания в соответствии с указанием преподавателя.

Студентам необходимо знать, что для каждого этапа выполнения плана самостоятельной работы они могут обращаться за консультацией к преподавателю или руководителю для дальнейшей работы и ее корректировки.

Рассмотрим основные правила выполнения и требования, предъявляемые к этим работам.

**Методические указания по написанию конспекта по вопросам, выделенных на самостоятельное изучение**

Что такое «конспект»? Конспект – это, прежде всего, изложение. Два главных его признака: он должен быть написан, информация сжатая. Многие до сих пор путают два понятия: краткое изложение основных положений и конспектирование. Но конспектирование – более широкий термин. Он предполагает сжатое изложение всей темы, а не только её тезисов.

*Цели конспектирования:*

- 1) переработка информации и трансформация её вида;
- 2) выделение в тексте самого необходимого с целью решения определённой задачи, ответа на определённый вопрос;

*Виды конспектов:*

- 1) свободный – пересказ материала своими словами;
- 2) смешанный – пересказ материала, дополненный словами автора;
- 3) текстуальный – состоит из цитат из текста, выражающих основную мысль и передающих главную ценность написанного;
- 4) плановый – составляется на основе плана.

Конспекты составляются в **письменном виде** в отдельной тетради. Объем каждого конспекта не менее двух страниц.

*Памятка по составлению конспекта:*

1. Читая изучаемый материал в первый раз, разделите его на основные смысловые части, выделите главные мысли, сделайте выводы.
2. Наиболее значимые положения (тезисы) последовательно и кратко изложите в тетради своими словами или приведите в виде цитат.
3. В конспект включите также выводы, конкретные факты и примеры (без подробного описания).
4. Отдельные слова можно писать сокращенно, допустимо применять условные обозначения.
5. Чтобы конспект был нагляднее и удобнее для проверки преподавателем, **применяйте разнообразные способы подчеркивания, используйте ручки разных цветов.**

### **3. Методические указания по изучению отдельных вопросов**

#### **Самостоятельная работа 1 (10 часов)**

*Цели:*

- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- развитие интереса у студентов к изучаемому материалу, привлечение внимания каждого студента к тому, что объясняет преподаватель;
- воспитание профессионализма и активизации учебной деятельности студентов.

*Вопросы для самостоятельного изучения:*

- 1.1 История автономных полетов
- 1.2 Технологии БПЛА
- 1.3 Виды БПЛА
- 1.4 Общие сведения о БПЛА

*Изучив эту тему, вы узнаете, что:*

Считается, что наибольший вклад в появление БПЛА внесли такие технологические явления, как радиоуправляемые модели, интегральные микросхемы (микросхемы), GPS, интернет и смартфоны.

#### **Радиоуправляемые модели самолетов**

В 1937 году Росс Халл (Ross Hull) и Клинтон ДеСото (Clinton DeSoto), служащие из Национальной ассоциации любительской радиосвязи США (American Radio Relay League, ARRL), впервые публично продемонстрировали радиоуправляемый полет. Летом и осенью 1937 года они разработали и построили планер с 4 метровым крылом, совершив более сотни успешных радиоуправляемых полетов в Хатфорде, штат Коннектикут.

#### **Приятие Микросхем**

Летом 1958 года Джек Килби (Jack Kilby) – новый сотрудник компании Texas Instruments и в то же время молодой изобретатель – совершил революцию в электронной промышленности представив свою интегральную схему. Этот предшественник микросхем состоял из транзистора и нескольких других компонентов, размещенных на кусочке германия размерами 11\*1.6 мм. Зная, что множество электронных компонентов, таких как резисторы и конденсаторы, можно изготовить из того же материала, и транзисторы, Килби пришел к выводу, что все они могут быть изготовлены в виде законченной схемы. Многие устройства, которыми мы сейчас пользуемся, были бы невозможны без простенькой микросхемы Килби.

#### **Технология БПЛА**

В определенный момент авиамодельная аппаратура достигла предела возможностей, обусловленного конструкцией оборудования, свойствами радиосигнала и кодоимпульсной передачи информации. Для выхода за эти рамки потребовались новые решения в области менее очевидных технологий, позволяющие реализовать интеллектуальное управление.

#### **GPS**

*«Система глобального позиционирования (Global Positioning System, GPS) – это принадлежащая США система, которая предоставляет потребителям услугу навигации, позиционирования и определения времени. Эта система состоит из трех сегментов: космический сегмент, сегмент управления и сегмент потребителей. BBC США разрабатывают, обслуживают и контролируют космический сегмент и сегмент управления».*

36 спутников системы непрерывно передают потребителям на земле поток информации, состоящий из географических данных и кода времени. Любое устройство, оснащенное GPS – приемником, может использовать данные от четырех спутников для вычисления своего положения в пространстве относительно этих спутников.

*«Современные миниатюрные приемники, применяемые в авиамоделизме, могут обрабатывать сигналы от семи спутников одновременно».*

#### **Интернет**

Влияние сети Интернет сложно переоценить, ведь благодаря ей стало возможным существование: онлайн магазинов, социальных сетей и форумов, а главное позволила людям

общаться, учиться и делать покупки по всему миру. Этим интернет повлиял на развитие многих сфер нашей жизни, в том числе и на развитие БПЛА.

### **Смартфон**

Поскольку размеры процессоров и сенсоров невероятно уменьшились, было лишь вопросом времени придумать, как использовать смартфон внутри авиамодели. Когда вы перемещаете или поворачиваете смартфон, его интерфейс меняет ориентацию на экране. Эти же датчики положения стоят в современных БПЛА.

### **ГЛОНАСС (Российская спутниковая система навигации)**

Глобальная навигационная спутниковая система — российская спутниковая система навигации, одна из двух полностью функционирующих на сегодня систем глобальной спутниковой навигации.

Система ГЛОНАСС, имевшая изначально военное предназначение, была запущена одновременно с системой предупреждения о ракетном нападении (СПРН) в 1982 году для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования, например, пассивных метео-РЛС типа РАЗК «Положение-2». Дополнительно система транслирует гражданские сигналы, доступные в любой точке земного шара, предоставляя навигационные услуги на безвозмездной основе и без ограничений.

Основой системы являются 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трёх орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей  $64,8^\circ$  и высотой орбит 19 100 км. Принцип измерения аналогичен американской системе навигации NAVSTAR GPS. Основное отличие от системы GPS в том, что спутники ГЛОНАСС в своём орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность. Таким образом, группировка космических аппаратов космических аппаратов ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования. Тем не менее, срок службы спутников ГЛОНАСС заметно короче.

Развитием проекта ГЛОНАСС занимается «Роскосмос», АО

«Информационные спутниковые системы имени академика М. Ф. Решетнёва» и АО «Российские космические системы». Для обеспечения коммерциализации и массового внедрения технологий ГЛОНАСС в России и за рубежом постановлением Правительства РФ в июле 2009 года был создан

«Федеральный сетевой оператор в сфере навигационной деятельности», функции которого были возложены на ПАО «Навигационно-информационные системы». В 2012 году федеральным сетевым оператором в сфере навигационной деятельности было определено некоммерческое партнёрство

«Содействие развитию и использованию навигационных технологий».

### **Принципы полета**

Есть несколько сил, возникающих в полете:

- Тяга;
- Лобовое сопротивление;
- Подъемная сила;
- Вес.

Когда мы говорим о понятии сила, мы подразумеваем простейшее толкающее или тянувшее воздействие. Если эти воздействия сбалансиированы – сила, действующая в одном направлении равна силе, действующей в противоположном направлении – объект неподвижен. Если силы не сбалансированы, объект ускоряется в направлении большей силы.

#### **Тяга.**

Тяга – это механическая сила, которая перемещает БПЛА в воздухе. Движение может быть следствием работы двигателей, пропеллеров, ракетных ускорителей, мускульной силы (в случае птиц) либо некой иной двигательной установки. Если тяга больше, чем лобовое сопротивление, скорость самолета увеличивается.

#### **Лобовое сопротивление**

Любой объект, движущийся с произвольной скоростью, будет испытывать некоторое лобовое сопротивление, увеличивающееся с ростом скорости. Вот почему самолеты, спортивные машины, локомотивы имеют обтекаемую форму – это позволяет воздуху свободнее обтекать движущийся объект, уменьшая лобовое сопротивление и повышая эффективность.

### **Подъемная сила**

Подъемная сила, противодействующая весу, – это аэродинамическая сила, которая удерживает летательный аппарат в воздухе. В случае с крылатыми аппаратами, подъемная сила возникает при обтекании воздухом объемного профиля крыла. Воздух, обтекающий верхнюю часть, крыла, движется быстрее (более разряжен), отчего над крылом образуется зона низкого давления. Под крылом воздух движется медленнее, образуя зону высокого давления. Благодаря разнице давлений возникает подъемная сила, направленная снизу вверх и удерживающая самолет в воздухе. Для зависания в воздухе или горизонтального полета подъемная сила должна быть равна весу; для набора высоты подъемная сила должна превышать вес.

### **Вес или гравитация**

Вес – это сила, действующая на объект по причине наличия *гравитации*. Объект, который летает или завис в воздухе, находится в состоянии непрерывного баланса сил, преодолевая гравитацию. Гравитация неумолима – даже краткосрочная потеря подъемной силы приводит к моментальному падению летательного аппарата.

### **Беспилотный летательный аппарат**

Беспилотный летательный аппарат – летательный аппарат без пилота и экипажа на борту.

Управление осуществляется 3 способами:

По радиоканалу с пульта управления.

1. Программируется полетный контроллер и аппарат летит автономно.

2. Комбинированный - сочетание двух этих способов. Виды беспилотных летательных аппаратов.

**Мы разделили БПЛА на две подгруппы: по назначению и по конструкции**, но также на практике встречается и дополнительная классификация –

**по массе:** микро-БПЛА массой менее 5 кг, мини – до 200-345 кг, миди – менее 2000 кг и макси – более 2000 кг;

**по продолжительности нахождения в воздухе:**  
 БПЛА с длительностью полета менее 1, 3, 6, 12 ч, до 24 ч и более;

**по высоте полета:** БПЛА с практическим потолком до 1, 3, 9-12, а также более 20 км;

### **Назначение БПЛА:**

- Аэрофотосъемка;
- Картография и топографическая съемка;
- Точное землемерие;
- Поисково-спасательные работы;
- Обследование инфраструктуры;
- Экологический мониторинг территории.

### **Аэрофотосъемка**

Желание создать фотографию с уникальным содержанием, перспективой – это сильный мотиватор, который многих привел в мир беспилотных летательных аппаратов. Легкие и надежные экшен-камеры играют ключевую роль в популяризации маленьких БПЛА. Возможность осматривать большие площади и получать четкое представление об окружающей среде привела БПЛА в киноиндустрию, спортивные трансляции журналистику.

### **Картографирование и топографическая съемка**

БПЛА зарекомендовали себя как эффективный инструмент, совершивший революцию в области геоинформационных систем. Бортовое оборудование БПЛА может собирать разнообразные данные, используя камеры и датчики в сочетании с наземными геопривязанными маркерами, эти устройства позволяют создавать чрезвычайно точные цифровые карты с разрешением до 5 см на пиксель.

### **Точное землемерие**

Новые технологии хорошо подходят для потребностей растущего населения в продуктах питания. В одних лишь Соединенных Штатах найдется около 2,2 млн фермерских хозяйств, для которых технология малых БПЛА будет чрезвычайно выгодна.

Существует две основные области применения, в которых БПЛА могут помочь фермерам. Прежде всего, это картографирование, в котором обычно применяются небольшие беспилотные самолеты с фиксированным крылом. Им требуется меньше энергии, чтобы долго находиться в воздухе. Объединяя данные с инфракрасных датчиков и накладывая их на файлы изображения, фермеры могут очертить границы полей, оценить состояние здоровья плантаций, идентифицировать больные растения и сорняки, измерить урожайность и степень увлажнения почвы. Весь этот массив информации затем анализируется для принятия оптимальных агротехнических решений. Для каждого поля может быть составлена индивидуальная пропись внесения удобрений и пестицидов. Это вторая область применения БПЛА. Вертолеты или мультикоптеры могут нести полезную нагрузку для распыления различных веществ на растения ряд за рядом, строго туда, куда нужно.

### **Поисково-спасательные работы**

БПЛА много раз помогали успешном розыске потерявшимся людей, будь то стихийное бедствие, похищение или обычная потеря ориентиров. БПЛА, оснащенные камерой высокого разрешения или инфракрасным сенсором, может обследовать сотни квадратных километров буквально за минуты. Чтобы охватить такое же пространство наземными силами, потребуются сотни волонтеров или несколько дней поисков. Начальный период с момента первого сообщения об исчезновении человека критически важен, и ранняя мобилизация всех доступных ресурсов позволяет сделать всевозможное, чтобы найти его живым.

### **Обследование инфраструктуры**

Износ инфраструктуры и воздействие экстремальных погодных условий могут оказать разрушительное действие на объекты транспорта, коммуникаций и энергетики. Инспектирование объектов этих отраслей – вот где маленькие БПЛА демонстрируют множество преимуществ перед обычными пилотируемыми летательными аппаратами. БПЛА могут приближаться вплотную и проникать в труднодоступные места. Другое очевидное преимущество – безопасность. Подумайте о рабочих, которые должны карабкаться на высотные объекты либо использовать подъёмники или краны, чтобы подняться снаружи на огромные мосты или небоскрёбы. Эти устаревшие методы просто опасны, занимают много времени и затратные. По цене одного пилотируемого полета компания может приобрести и использовать полную систему для аэрофотосъемки.

Удерживая БПЛА в точных координатах GPS, плюс возможность вращать бортовую камеру по трем осям, позволяют операторам достичь невероятно наглядного изображения любого участка объекта, который технические специалисты хотели бы рассмотреть в деталях.

### **Экология**

Биологи и климатологи в своих усилиях по сохранению нашей планеты и ее обитателей сталкиваются с различными трудными задачами. Они должны охватывать обширные и труднодоступные местности. Планирование экспедиций дорого, трудоемко и отнимает много времени. Экологи гибнут, сталкиваясь с вооруженными браконьерами. За минувшие годы многие погибли, выполняя наблюдения в легкомоторных самолетах на предельно малой высоте полет. Имея столь насущные проблемы, ученые приветствовали выгоды от применения малых БПЛА, позволяющих эффективно вести работу. Скорость, безопасность, экономия времени и средств – это великолепно. Однако наибольшую выгоду можно извлечь из огромного количества данных в виде изображений высокого разрешения и показаний датчиков, которые раньше не применялись.

### **Военные**

В военной области БПЛА используются главным образом для целей разведки, наблюдения или целеуказания оружия, хотя в концептуальном плане просматриваются различные варианты целевого применения, в том числе в качестве ударных средств.

В ходе Второй карабахской войны (2020) азербайджанской стороной активно использовались дроны класса MALE («средневысотный с большой продолжительностью полёта») и барражирующие боеприпасы — то есть дроны-камикадзе. Дроны-камикадзе стоимостью менее

миллиона долларов могут уничтожить новейший танк или ракетный комплекс, стоимость которого гораздо больше, чем стоимость самого дрона.

### **Доставка**

**Способ доставки, при котором транспортировка еды, медикаментов и других товаров осуществляется с помощью БПЛА коммерческого назначения.**

Большинство предлагаемых решений на данный момент заключается в использовании коптера с шестью и более пропеллерами. Доставочный контейнер помещается в отсек в нижней части БПЛА или крепится непосредственно к самому летательному аппарату. Клиент получает посылку, забирая её из отсека, спустившегося на землю дрона или отсоединяя от веревки спускового механизма.

### **Спортивные**

#### ***Класс F-1 "Свободнолетающие модели"***

Свободнолетающими называются модели, никак не связанные с человеком после начала самостоятельного полета.

#### ***Класс F-2 "Кордовые модели"***

Кордовыми (от французского слова корд - веревка) называются модели, связанные с человеком двумя крепкими нитями, по которым передается управление от пилота к модели. Летают такие модели по кругу или полусфере, центром которой является пилот с ручкой управления в руках.

#### ***Класс F-3 "Радиоуправляемые модели"***

Радиоуправляемыми называются модели управления, которыми происходит через радиоволны. Пилот через специальный передатчик подает команды приемнику на модели и управляет всеми рулями и механизмами самолета.

#### ***Класс F-4 "Модели - копии"***

Модели представляют собой уменьшенные копии настоящих летательных аппаратов тяжелее воздуха, управляемых людьми. Масштабная авиамодель – это малоразмерная копия полноразмерного пилотируемого летательного аппарата тяжелее воздуха.

#### ***Класс F-5 "Модели с электродвигателем"***

Класс соревнований F5 является абсолютно идентичным классу F3, за исключением того факта, что все модели, принимающие участие в соревнованиях, должны иметь электродвигатель вместо двигателя внутреннего сгорания.

### **Класс S "Модели ракет"**

Модель ракеты — это модель, поднимающаяся в воздух без использования аэродинамических подъемных сил для преодоления силы тяжести, приводимая в движение с помощью ракетного двигателя (-ей) и включающая в себя устройства для безопасного возвращения на землю в состоянии, позволяющем ее повторное использование. Модели ракет изготавливаются в основном из неметаллических материалов и подразделяются на двенадцать категорий.

### **По конструкции**

- БПЛА самолетного типа
- Привязные БПЛА
- БПЛА вертолетного типа
- Конвертопланы
- Радиоуправляемые планеры
- Мультикоптеры

### **БПЛА самолетного типа**

Этот тип аппаратов известен также как БПЛА с жестким крылом. Подъемная сила у этих аппаратов создается аэродинамическим способом за счет потока воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Аппараты такого типа, как правило, отличаются большой длительностью полета, большой максимальной высотой полета и высокой скоростью.

Существует большое разнообразие подтипов БПЛА самолетного

типа, различающихся по форме крыла и фюзеляжа. Практически все схемы компоновки самолета и типы фюзеляжей, которые встречаются в пилотируемой авиации, применимы и в беспилотной.

### AC-32-10

Самолет AC-32-10 имеет размах крыла 3.05 м, максимальный вес 13.5 кг, в зависимости от полезной нагрузки.

Может находиться в воздухе до 4 часов на одном заряде аккумуляторов. Большим преимуществом данного борта является возможность запуска с эластичной катапульты, это значительно сокращает время запуска. БПЛА AC-32-10 обладает системой отцепа консолей крыла при жесткой посадке. Специальная система крепления крыла к центроплану позволяет ему самостоятельно отделяться в случае жесткой посадки, снижая энергию удара, тем самым сохраняя самолет и оборудование на нем.

Корпус БПЛА AC-32-10 выполнен из многослойного композитного материала, обладающего высокой прочностью и упругостью. Эти качества значительно продлевают срок службы планера и позволяют оперативно ремонтировать и заменять поврежденные детали. При заходе на посадку БПЛА выполняет фигуру «горка», уменьшая свою горизонтальную скорость почти до полной остановки, что препятствует рывку при выпуске парашюта. Малый вес БПЛА обеспечивает плавный спуск, что защищает целевую нагрузку от повреждений при приземлении БПЛА.

### Применение

Новейшая система креплений позволяет сократить время развертывания комплекса до 5-10 минут. Данная модель отлично подходит для мобильного мониторинга, линейной съемки, как для небольших, так и для крупных объектов.

Сфера применения аппаратуры – широка. Благодаря заявленным техническим характеристикам и компактным размерам БПЛА пригодится во время аэро и фотонаблюдения, видеосъемки, наблюдения за объектами, частичными территориями, сельскохозяйственными угодьями. Использование аппаратуры сократит время на наблюдение, мониторинг, сбор информации, обработку и анализ данных. Современная конструкция и использование современных прочных материалов позволили приспособлению работать в следующих условиях:

- При температуре от -40 до +40 градусов.
- При ветре, который достигает 16 м/с.
- Во время умеренного дождя и снегопадов.

Во время полета следите за тем, чтобы оборудование не пересекало отметки в 90 км. Этот показатель – максимальный радиус действий видеоканала и радиолинии.

### Летно-технические характеристики:

Время полета, ч	4
Скорость полета, км/ч	65 ÷ 140
Двигатель	1 электродвигатель
Компоновка двигателя	тянущий
Максимальный радиус действия радиолинии, км	90
Максимальный радиус действия видеоканала, км	90
Максимальная дальность полета, км	240
Взлетный вес, кг	10,5 ÷ 13,5
Полезная нагрузка, кг	до 1,5
Размах крыла летательного аппарата, м	3,05

Рабочая высота полета, м	$50 \div 7000$
Время развертывания комплекса, мин	10
Взлет	эластичная катапульта
Посадка	парашют

## Самостоятельная работа 2 (8 часов)

*Цели:*

- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- развитие интереса у студентов к изучаемому материалу, привлечение внимания каждого студента к тому, что объясняет преподаватель;
- воспитание профессионализма и активизации учебной деятельности студентов.

*Вопросы для самостоятельного изучения:*

1. Автоматизация контрольно-измерительных работ в воздушном пространстве с использованием БЛА.
2. Правила наладки измерительных приборов и контрольно-проверочной аппаратуры.

*Изучив эту тему, вы узнаете, что:*

В 2016 г. в России принята Национальная технологическая инициатива – проект, в который входят программы формирования и развития высокотехнологических рынков. По итогам сессии «Форсайт-Флот» в 2015 г. были выделены девять рынков, один из которых «АэроНет» – «Распределенные системы беспилотных летательных аппаратов». При этом реализация государственных программ в области автоматизации производства в первую очередь касается предприятий оборонного, нефтегазового и энергетического секторов. Для двух последних важным показателем функционирования является экологичность работы установок. Одним из недостатков существующих систем является проблема оперативного получения исходных данных о физико-химической обстановке на территории промышленного объекта и за его территорией.

На данный момент существуют системы контроля ПДК вредных веществ в воздухе в виде стационарных (регулярных) экологических постов и мобильных (передвижных) экологических лабораторий [1]. Мобильное оборудование для аналитических задач особенно актуально для тех компаний, которым нужно выполнять регулярный мониторинг своих объектов в труднодоступных районах и районах со сложной климатической обстановкой. В таких случаях для установки газоанализаторов используют автомобили или другую наземную спецтехнику, а также вертолеты. В частности, компания «Газпром» использовала и использует до сих пор газоанализаторы воздушного базирования, которые устанавливаются на вертолеты Ми-8. Однако, как показала практика применения в том же «Газпроме», использование вертолета с газоанализатором обходится слишком дорого.

Возможное решение проблемы, позволяющее проведение эффективного и непрерывного мониторинга превышения ПДК вредных веществ в воздушном пространстве на больших территориях, не подвергая риску жизнь и здоровье людей, – создание автоматизированной системы мониторинга вредных веществ на базе беспилотного летательного аппарата. Быстрая и достаточно легкая замена контрольно-измерительных приборов обеспечивает адаптивность БПЛА для исследования различных загрязнителей [2]. Разрабатываемая система подразумевает установку портативного многоканального газоанализатора на борт беспилотного летательного аппарата.

Автономность системы обеспечивается бортовым контроллером БПЛА и контроллером газоанализатора, обеспечивающего запись результатов измерения параметров воздушного пространства на цифровой носитель и отправку по каналу связи. Оперативное получение данных измерений позволяет осуществить анализ в режиме реального времени. Постановлением Правительства РФ № 1184 от 29.09.2017 утверждена «дорожная карта», направленная на прогнозирование и развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и применение ее в разных сегментальных рынках [3]. Конечной целью развития программы является формирование конкурентоспособной отрасли беспилотных авиационных систем с выходом на лидирующие мировые позиции.

Основными факторами актуальности автоматизированной системы мониторинга на основе БПЛА являются:

- высокая скорость проведения;
- большая зона покрытия;
- возможность работы в автономном режиме в условиях ограниченной зоны радио- обмена;
- селективность и точность определения инспектируемых веществ и координат антропогенного источника.

**Целью исследования** является повышение эффективности процессов контроля и измерений воздуха мобильными лабораториями за счет разработки и применения автоматизированной системы на базе беспилотного летательного аппарата.

**Объект исследования** – информационное и программное обеспечение систем технологического процесса контроля и измерений воздуха на базе беспилотного летательного аппарата.

**Задачами исследования** являются разработка алгоритмов работы и управления системой.

Существующие российские комплексы с использованием БПЛА могут быть использованы для выполнения задач обеспечения экологической безопасности, а также выявления нарушений санитарно-защитных зон, для оценки выноса загрязняющих веществ за границы санитарно-защитных зон, мониторинга работы трубопроводов, оценки сбросов сточных и загрязненных нефтепродуктами вод, оценки деградации полей и пастбищ, в целях выявления лесных пожаров и других ЧС [4]. Однако существующие на рынке готовые решения, например AirSense Drone, не рассматриваются ввиду их большой стоимости и отсутствия возможности изменения состава комплекса и принципов управления.

### **Материалы и методы исследования**

Для решения поставленных задач применялись методы системного анализа, методы графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур на основе UML и IDEF-диаграмм.

Материалами для исследования являются технологические процессы и нормы в области контроля и измерения воздуха. Экспериментальные исследования основываются на базе квадрокоптера Mavik 2 Pro и микроконтроллеров семейства Arduino (рис. 1).



Рис. 1. Базовые технические компоненты для проведения исследования: а – квадрокоптер Mavik 2 Pro; б – микроконтроллер Arduino Nano V3 (для модуля газоанализатора); в – Arduino UNO R3 (для пульта оператора)

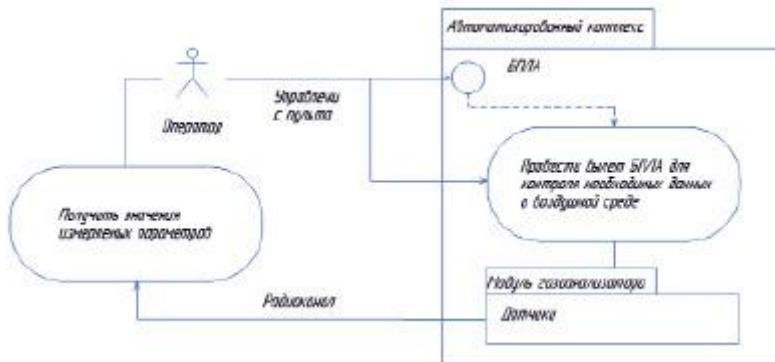


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования для разрабатываемой системы

### Результаты исследования и их обсуждение

Для описания алгоритмов работы и управления системой воспользуемся диаграммами UML.

Диаграмма вариантов использования (Use Case Diagram) для описания автоматизированной системы мониторинга загрязнения воздуха представлена на рис. 2.

Оператор выполняет удаленное управление системой (автоматизированным комплексом), в состав которого входит БПЛА и газоанализатор со следующими компонентами: датчик влажности, датчик температуры, датчик сероводорода, датчик давления, датчик углекислого газа, датчик метана, устройство записи показаний на SD-карту, датчик GPS/ГЛОНАСС, датчик обнаружения взвешенных частиц (пыли).

Возврат измеренных значений должен выполняться по радиоканалу и дублироваться записью данных на SD-карту.

Тогда диаграмма рассматриваемой предметной области по методологии IDEF0 примет вид, представленный на рис. 3.

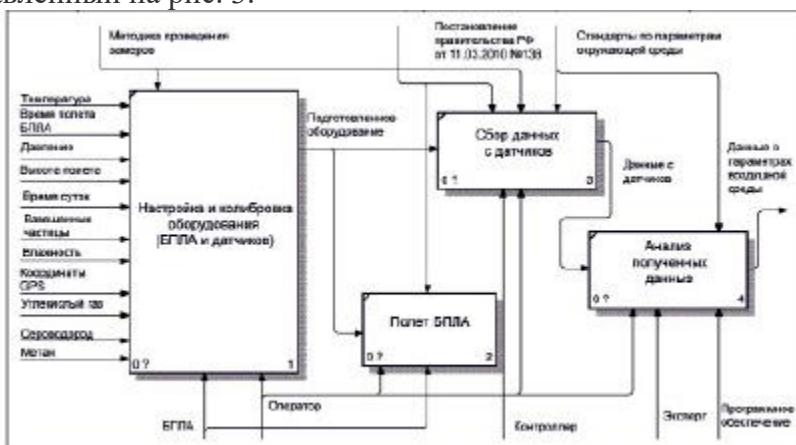


Рис. 3. Диаграмма проекта по методологии IDEF0

Оператор должен «на земле» осуществить настройку и калибровку датчиков, после чего осуществить управление непосредственно БПЛА, вручную или автоматически, по программе полета. Для квадрокоптера Mavik Pro полет может быть спроектирован заранее, по узловым точкам на карте. Сбор данных должен иметь возможность осуществления как в виде непрерывного процесса (с максимальной возможной частотой работы самого «медленного» датчика), так и с заданным интервалом времени.

Анализ полученных данных с установленных на БПЛА датчиков осуществляется как непосредственно в процессе управления, при помощи показаний с пульта оператора, так и после полета, на основании записей с SD-карты.

Для исследования полученных данных в настоящее время существует целый ряд программ, предназначенных для автоматизированной обработки информации по результатам мульти- и гиперспектральной съемки в интересах исследования состояния компонентов окружающей среды. Они включают набор процедур предварительной коррекции, трансформирования и разнообразные методы классификации, в том числе объектно-ориентированной сегментации изображений в комплексе с геоинформационными технологиями [5].

Диаграмма деятельности системы управления беспилотными летательными аппаратами для автоматизации контрольно-измерительных работ в воздушном пространстве может быть представлена следующими участниками: БПЛА, оператор, контроллер на удаленной части, контроллер на наземной части; блок записи данных на SD-карту, блок измерения показаний окружающей среды (относительной влажности, температуры, атмосферного давления), блок GPS/ГЛОНАСС, блок определения концентрационных значений для инспектируемых веществ (угарного газа, метана, углекислого газа, сероводорода, взвешенных частиц пыли). Опрос датчиков осуществляется циклически, очередность опроса не важна.

В качестве практической реализации данной системы может выступать система, состоящая из двух микроконтроллеров серии Arduino.

Для реализации системы сбора, записи и передачи данных, устанавливаемой на квадрокоптере, целесообразно использование версии контроллера с малым весом и энергопотреблением. Например, таким контроллером может выступить Arduino Nano. К данному контроллеру возможно одновременное подключение всех ранее названных датчиков. При этом имеется возможность также дальнейшего расширения системы за счет нескольких незадействованных цифровых и аналоговых выводов.

Варианты датчиков: DHT22 датчик температуры и влажности; BMP180 датчик атмосферного давления; SUQ GP2Y1010AU0F датчик взвешенных частиц; MQ136 датчик сероводорода; MQ4 датчик метана; MH-Z19B датчик углекислого газа; GY-NEO6MV2 модуль глобального позиционирования GPS; Micro SD Mini TF модуля записи на цифровой носитель; FS1000A модуля радиоканала связи (передатчик).

Систему приема и вывода показаний датчиков (не является обязательной) возможно реализовать на основе микроконтроллера Arduino UNO. Выбор более производительного контроллера обусловлен снижением требований к весу и энергоемкости, а также исходя из условия подключения графического дисплея (2,8 TFT 320\*240) для вывода показаний измерений в режиме реального времени.

### **Заключение**

Оценка состава и качества атмосферы – одна из задач, которую способны решать беспилотные летательные аппараты. В отличие от аэростатов, которые ведут линейные измерения атмосферы, БПЛА могут покрывать большие площади, выполняя автономные программы полетов.

Для такого показателя эффективности, как «стоимость проведения работ» БПЛА имеет лучшие (в плане снижения стоимости) показатели как при закупке самого оборудования для проведения работ (стоимость квадрокоптера, Arduino и комплекта датчиков на порядок ниже стоимости вертолета или аэростата), так и при обеспечении самого процесса получения показателей воздушной среды. БПЛА не расходует бензин, стоимость и доступность запасных частей также намного ниже, чем при применении другой, более тяжелой техники.

При применении БПЛА снижаются также и требования к обслуживающему персоналу. Оператору квадрокоптера не нужно проходить длительную специализированную подготовку и получать допуски и сертификаты на управление. Согласование полета в этом случае может быть осуществлено любым физическим лицом с навыками пилотирования.

Скорость подлета и начала съемки с квадрокоптера намного выше, чем при использовании другой летающей техники за счет большой мобильности летательного аппарата. Взлет БПЛА возможен с открытого пространства радиусом от одного метра (а для некоторых моделей даже с руки), что несравненно с требованиями по наличию специализированных площадок для взлета и большого открытого воздушного пространства около обследуемого объекта в случае применения вертолетов и аэростатов.

Таким образом, собственная разработка и сборка подобных автоматизированных систем измерения на базе БПЛА, ввиду большой доступности, универсальности и низкой цены современных датчиков-анализаторов, является гораздо целесообразнее покупки готовых систем благодаря возможности гибкой перенастройки и модификации под требуемые задачи.

## **1.1 Правила наладки измерительных приборов и контрольно-проверочной аппаратуры.**

Полезная модель относится к комплексным контрольно-проверочным системам, а именно к системам для наземного контроля исправности бортовых систем беспилотных летательных аппаратов, оснащенных автономной системой управления на базе вычислительных средств и радиолокационным визиром. Задачей полезной модели является обеспечение высокой надежности и достоверности результатов комплексной проверки систем БПЛА при одновременном упрощении структуры комплекса. Для достижения заявленного технического результата в комплексе контрольно-проверочной аппаратуры бортовых систем беспилотного летательного аппарата (БПЛА), содержащем имитатор цели с контрольной антенной, связанной посредством радиоканала с антенной радиолокационного визира БПЛА, выход сигналов опорной частоты которого соединен с опорным входом имитатора цели, устройство коммутации, соединенное с бортразъемом БПЛА посредством кабеля цепей соединения с контрольными точками электрооборудования, кабеля цепей передачи команд и кабеля сигнальных цепей, пульт управления и объединенные с ним в локальную вычислительную сеть (ЛВС) по схеме «звезда», устройство контроля системы управления, устройство контроля электрооборудования и устройство самоконтроля, каждое из которых содержит устройство гальванической развязки, релейный передатчик команд и контрольный процессор, кроме этого, устройство контроля системы управления содержит мультиплексор, входы которого образуют входы измеряемых сигналов устройства контроля системы управления, а к системным шинам ЭВМ контрольного процессора устройства контроля системы управления и контрольного процессора устройства самоконтроля подключены адаптеры мультиплексного канала, в контрольные процессоры устройства контроля системы управления и устройства самоконтроля введены последовательно соединенные блок аналоговых нормализаторов и анализатор аналоговых сигналов, выход которого соединен с системной шиной ЭВМ соответствующего контрольного процессора, выход мультиплексора устройства контроля системы управления соединен с выходом блока аналоговых нормализаторов контрольного процессора устройства контроля системы управления, в устройство контроля электрооборудования введены мультиплексор, входы которого образуют входы сигналов контрольных точек устройства контроля электрооборудования, и соединенное с выходом мультиплексора устройство контроля сообщений контрольных точек, выход которого соединен с одним из выходов блока аналоговых нормализаторов контрольного процессора устройства контроля электрооборудования, другие выходы которого образуют входы измеряемых потенциалов устройства контроля электрооборудования, кроме этого, в устройство самоконтроля введен мультиплексор, вход которого соединен с источником напряжения постоянного тока, а выходы образуют выходы сигналов для измерения устройства самоконтроля, при этом устройство коммутации, выполненное в виде набора клеммных колодок, содержит блок коммутации контрольных точек, через который входы сигналов контрольных точек устройства контроля электрооборудования соединены с соответствующими цепями кабеля цепей соединения с контрольными точками электрооборудования, блок коммутации команд, через который выходы команд устройства контроля системы управления и устройства контроля электрооборудования соединены с соответствующими цепями кабеля цепей передачи команд, блок коммутации сигналов, через который входы релейных и измеряемых сигналов устройства контроля системы управления и входы релейных сигналов и измеряемых потенциалов устройства контроля электрооборудования соединены с соответствующими цепями кабеля сигнальных цепей, блок коммутации имитируемых команд и напряжений, к соответствующим входам которого подключены выходы сигналов для измерения устройства самоконтроля и его выходы команд, блок коммутации имитируемых команд, к выходам которого подключены входы релейных сигналов устройства самоконтроля, и блок коммутации имитируемых контрольных точек, выходы которого в режиме самоконтроля комплекса соединяется с выходами блока коммутации контрольных точек посредством кабеля цепей соединения с контрольными точками электрооборудования.

Полезная модель относится к комплексным контрольно-проверочным системам, а именно к системам для наземного контроля исправности бортовых систем беспилотных летательных аппаратов, оснащенных автономной системой управления на базе вычислительных средств и радиолокационным визиром.

Известно устройство наземного контроля радиолокационных систем управления [1], включающее радиолокационную систему управления, соединенную через устройство сопряжения с устройством регистрации, группу имитаторов, воспроизводящих зондирующий сигнал, уводящий сигнал, прицельный сигнал, многократный сигнал и шумовой сигнал, а также вычислители сигналов управления, сигналов исполнительных устройств и навигационных сигналов, блок контроля и коммутации и блок управления.

Недостатком известного устройства являются ограниченные функциональные возможности, не позволяющие использовать устройство для комплексной проверки всех бортовых систем беспилотного летательного аппарата.

Наиболее близким по исполнению аналогом, принятым в качестве прототипа предлагаемой полезной модели, является комплекс [2] для проверки бортовых систем беспилотного летательного аппарата.

Комплекс по прототипу содержит имитатор цели с контрольной антенной, связанной по радиоканалу с антенной радиолокационного визира БПЛА, пульт управления, выполненный с возможностью задания программы проверки и отображения информации, устройство гарантированного электропитания, устройство коммутации, а также объединенные в локальную сеть с пультом управления посредством интерфейсных магистралей информационного обмена и концентратора локальной сети устройство контроля системы управления, устройство контроля электрооборудования и устройство самоконтроля.

Недостатками комплекса по прототипу являются:

- неэффективное использование постоянно задействованного имитатора цели,
- неоднородность структуры вычислительных устройств комплекса,
- недостаточно высокая надежность устройства коммутации, построенного с использованием электромеханических реле.

Задачей полезной модели является обеспечение высокой надежности и достоверности результатов комплексной проверки систем БПЛА при одновременном упрощении структуры комплекса.

Для достижения заявленного технического результата в комплексе контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) бортовых систем беспилотного летательного аппарата (БПЛА), содержащем имитатор цели с контрольной антенной, связанной посредством радиоканала с антенной радиолокационного визира БПЛА, выход сигналов опорной частоты которого соединен с опорным входом имитатора цели, устройство коммутации, соединенное с бортразъемом БПЛА посредством кабеля цепей соединения с контрольными точками электрооборудования, кабеля цепей передачи команд и кабеля сигнальных цепей, пульт управления и объединенные с ним в локальную вычислительную сеть (ЛВС) посредством интерфейсных магистралей ЛВС, соединенных в концентраторе ЛВС по схеме «звезда», устройство контроля системы управления, устройство контроля электрооборудования и устройство самоконтроля, каждое из которых содержит устройство гальванической развязки, релейный передатчик команд и контрольный процессор, выполненный на основе электронно-вычислительной машины (ЭВМ), к системнойшине которой подключены контроллер ЛВС, соединенный с соответствующей интерфейсной магистралью ЛВС, устройство дискретного ввода-вывода и устройство мониторинга, соединенное посредством соответствующей интерфейсной магистрали последовательного канала с входом-выходом интерфейса последовательного канала пульта управления, кроме этого, устройство контроля системы управления содержит мультиплексор, входы которого образуют входы измеряемых сигналов устройства контроля системы управления, а к системным шинам ЭВМ контрольного процессора устройства контроля системы управления и контрольного процессора устройства самоконтроля подключены адаптеры мультиплексного канала, при этом в штатном режиме работы комплекса через адаптер мультиплексного канала контрольного процессора устройства контроля системы управления осуществляется информационный обмен с бортовой ЭВМ системы управления БПЛА, а в режиме самоконтроля через адаптеры мультиплексных каналов осуществляется информационный обмен между контрольными процессорами устройства контроля системы управления и устройства самоконтроля, кроме этого, входы релейных передатчиков команд и выходы устройств гальванической развязки устройства контроля системы

управления, устройства контроля электрооборудования и устройства самоконтроля соединены соответственно с выходами сигналов управления релейными передатчиками и входами чтения релейных сигналов устройства дискретного ввода-вывода соответствующего контрольного процессора, а выходы релейных передатчиков команд, образующие выходы команд, и входы устройств гальванической развязки, образующие входы релейных сигналов устройства контроля системы управления, устройства контроля электрооборудования и устройства самоконтроля, соединены с соответствующими входами и выходами устройства коммутации, в контрольные процессоры устройства контроля системы управления и устройства самоконтроля введены последовательно соединенные блок аналоговых нормализаторов и анализатор аналоговых сигналов, выход которого соединен с системной шиной соответствующего контрольного процессора, выход мультиплексора устройства контроля системы управления соединен с входом блока аналоговых нормализаторов контрольного процессора устройства контроля системы управления, в устройство контроля электрооборудования введены мультиплексор, входы которого образуют входы сигналов контрольных точек устройства контроля электрооборудования, и соединенное с выходом мультиплексора устройство контроля сообщений контрольных точек, выход которого соединен с одним из входов блока аналоговых нормализаторов контрольного процессора устройства контроля электрооборудования, другие входы которого образуют входы измеряемых потенциалов устройства контроля электрооборудования, в устройство самоконтроля введен мультиплексор, вход которого соединен с источником напряжения постоянного тока, а выходы образуют выходы сигналов для измерения устройства самоконтроля, при этом устройство коммутации, выполненное в виде набора клеммных колодок, содержит блок коммутации контрольных точек, через который входы сигналов контрольных точек устройства контроля электрооборудования соединены с соответствующими цепями кабеля цепей соединения с контрольными точками электрооборудования, блок коммутации команд, через который выходы команд устройства контроля системы управления и устройства контроля электрооборудования соединены с соответствующими цепями кабеля цепей передачи команд, блок коммутации сигналов, через который входы релейных и измеряемых сигналов устройства контроля системы управления и входы релейных сигналов и измеряемых потенциалов устройства контроля электрооборудования соединены с соответствующими цепями кабеля сигнальных цепей, блок коммутации имитируемых команд и напряжений, к соответствующим входам которого подключены выходы сигналов для измерения устройства самоконтроля и его выходы команд, блок коммутации имитируемых команд, к выходам которого подключены входы релейных сигналов устройства самоконтроля, и блок коммутации имитируемых контрольных точек, выходы которого в режиме самоконтроля комплекса соединяются с входами блока коммутации контрольных точек посредством кабеля цепей соединения с контрольными точками электрооборудования, который вместе с кабелем цепей передачи команд и кабелем сигнальных цепей отключается от бортразъема БПЛА, при этом выходы блока коммутации имитируемых команд и напряжений соединяются посредством кабеля сигнальных цепей с входами блока коммутации сигналов, а входы блока коммутации имитируемых команд соединяются посредством кабеля цепей передачи команд с выходами блока коммутации команд, кроме этого, адресные входы мультиплексоров устройства контроля системы управления, устройства контроля электрооборудования и устройства самоконтроля соединены с выходами сигналов управления мультиплексором устройства дискретного ввода-вывода соответствующего контрольного процессора, а управляющий вход имитатора цели подключен к соответствующему выходу релейного передатчика команд устройства контроля системы управления.