****

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

(**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**)» (МАИ)

**Факультет 7** Робототехнические и интеллектуальные системы **Кафедра** 704

**Направление подготовки** 160601 **Группа** 07-608

**Квалификация (степень)** инженер

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**К**

**ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

На тему: Разработка алгоритмов, программно-математического и аппаратного обеспечения для информационного обмена группы беспилотных летательных аппаратов с использованием радиоканала.

Автор квалификационной работы: Мацепура Артем Максимович /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель: Холостов Константин Михайлович /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

К о н с у л ь т а н т ы :

а) Ильяхинская Галина Владимировна /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

б) Метечко Людмила Борисовна /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

в) Холостов Константин Михайлович /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**К з а щ и т е д о п у с т и т ь**

Зав. Кафедрой Красильщиков Михаил Наумович /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

“\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_г.

Москва 2015 г.

[Общая часть 4](#_Toc409684777)

[Введение 4](#_Toc409684778)

[1. Назначение БПЛА в целях реализации различных задач 6](#_Toc409684779)

[1.1. *Состав и классификация БПЛА* 7](#_Toc409684780)

[1.2. *Развитие технологий БПЛА* 11](#_Toc409684781)

[1.3. *Варианты управления БПЛА* 13](#_Toc409684782)

[2. Системы и алгоритмы управления группой БПЛА 15](#_Toc409684783)

[2.1. *Системы на основе «роевого интеллекта»* 18](#_Toc409684784)

[2.2. *Прикладные многоагентные системы управления* 20](#_Toc409684785)

[2.3. *Адаптивное управление автономной группой БПЛА* 21](#_Toc409684786)

[2.4. Решение задачи об обнаружении источников радиосигнала группой БПЛА 23](#_Toc409684787)

[Специальная часть 25](#_Toc409684788)

[3. Разработка алгоритма группового взаимодействия с использованием радиоканала 25](#_Toc409684789)

[3.1. *Организация управляющего канала «пункт управления – группа БПЛА»* 25](#_Toc409684790)

[*3.2.* *Организация взаимодействия внутри группы БПЛА* 29](#_Toc409684791)

[*3.3.* *Работа внутригрупповой системы взаимодействия совместно с внешним каналом управления* 29](#_Toc409684792)

[*3.4.* *Блок-схема алгоритма взаимодействия* 30](#_Toc409684793)

[*3.5.* *Содержание и объем передаваемой информации* 32](#_Toc409684794)

[*3.6.* *Обеспечение контроля надежности и достоверности передаваемых сигналов управления* 35](#_Toc409684795)

[*3.7.* *Обеспечение секретности передаваемых данных* 36](#_Toc409684796)

[*3.8.* *Основные требования, предъявляемые модулям радиоканала* 40](#_Toc409684797)

[*3.9.* *Структура пакета, соответствующая предъявляемым требованиям* 41](#_Toc409684798)

[*3.10.* *Отработка критических ситуаций* 42](#_Toc409684799)

[4. Разработка программно-математического обеспечения 44](#_Toc409684800)

[*4.1.* *Программно-математическое обеспечение устройства сопряжения с оборудованием пункта управления* 45](#_Toc409684801)

[*4.2.* *Программно-математическое обеспечение модуля на борту БПЛА* 48](#_Toc409684802)

[*4.3.* *Программно-математическое обеспечение ПЭВМ оператора* 52](#_Toc409684803)

[5. Аппаратно-техническая реализация макета. Выбор элементной базы 60](#_Toc409684804)

[*5.1.* *Выбор приемопередающего радиомодуля* 60](#_Toc409684805)

[*5.2.* *Выбор микроконтроллера* 62](#_Toc409684806)

[6. Разработка функциональной и принципиальной схем системы взаимодействия и управления группой БПЛА с использованием радиоканала 67](#_Toc409684807)

[*6.1.* *Функциональная схема модуля на борту БПЛА* 68](#_Toc409684808)

[*6.2.* *Функциональная схема устройства сопряжения с оборудованием пункта управления* 69](#_Toc409684809)

[*6.3.* *Принципиальная схема устройства сопряжения оборудования с ЭВМ оператора* 70](#_Toc409684810)

[*6.4.* *Принципиальная схема модуля на борту БПЛА* 72](#_Toc409684811)

[*6.5.* *Вариант конструктивного исполнения модуля сопряжения оборудования с ЭВМ оператора* 74](#_Toc409684812)

[*6.6.* *Вариант конструктивного исполнения модуля на борту БПЛА* 75](#_Toc409684813)

[Охрана труда и окружающей среды 76](#_Toc409684814)

[*Введение* 76](#_Toc409684815)

[*Анализ условий труда* 77](#_Toc409684816)

[*Санитарно-гигиенические факторы* 77](#_Toc409684817)

[*Микроклимат* 77](#_Toc409684818)

[*Освещение* 78](#_Toc409684819)

[*Электроопасность* 79](#_Toc409684820)

[*Шум* 80](#_Toc409684821)

[*Вибрация* 81](#_Toc409684822)

[*Электромагнитные излучения* 83](#_Toc409684823)

[*Расчет искусственного освещения* 84](#_Toc409684824)

[*Выводы* 86](#_Toc409684825)

[Организационно-экономическая часть 87](#_Toc409684826)

[*Введение* 87](#_Toc409684827)

[*Организационная часть* 89](#_Toc409684828)

[*Расчет продолжительности и трудоемкости* 89](#_Toc409684829)

[*Календарь работ* 92](#_Toc409684830)

[*План-график работ* 93](#_Toc409684831)

[*Экономическая часть* 94](#_Toc409684832)

[*Материальные затраты* 94](#_Toc409684833)

[*Расходы на оплату труда* 96](#_Toc409684834)

[*Начисления на заработную плату* 96](#_Toc409684835)

[*Расходы на эксплуатацию оборудования* 98](#_Toc409684836)

[*Накладные расходы* 100](#_Toc409684837)

[*Смета затрат* 101](#_Toc409684838)

[*Выводы* 102](#_Toc409684839)

[Выводы о проделанной работе 104](#_Toc409684840)

[Список использованных источников 105](#_Toc409684841)

# Общая часть

## Введение

Успехи, достигнутые в разработке беспилотных летательных аппаратов, как военного, так и гражданского назначения, создают хорошие предпосылки для широкого круга их применения, в частности для исследования земной поверхности, в том числе зон стихийных бедствий, мест чрезвычайных ситуаций, для обнаружения очагов пожаров, для измерения метеорологических данных, радиационного фона и других факторов, а также для обеспечения телекоммуникаций, мониторинга трубопроводов и линий электропередач, патрулирования границ. Связано это с тем, что БПЛА гораздо дешевле пилотируемой авиации, более просты в обслуживании, их полет может быть намного продолжительнее, они также могут работать в темноте, в условиях плохой видимости, кроме того, они могу применяться в ситуациях, угрожающих жизни пилота.

Эффективность использования БПЛА значительно повышается при организации групповых полетов. Однако при этом возникает ряд сложных проблем, связанных с обеспечением управления полетом группы БПЛА. Под группой БПЛА обычно понимают некоторую совокупность летательных аппаратов, которые подчиняются определенным правилам сбора в группу, способны выдерживать свое место в строю на прямолинейных и криволинейных участках полета всей группы в целом, реагировать на изменения окружающей среды и взаимодействовать друг с другом.

В последнее время активно развиваются методы адаптивного и интеллектуального управления робототехническими системами, в которых все активнее развивается идея децентрализации, путем распределения между отдельными подсистемами задач обработки сенсорной информации, формирования моделей среды, коммуникативных операций, диагностики и т.д., позволяет существенно расширить сферу применения автономных комплексов и систем.

При этом на систему управления полетом группы БПЛА возлагается задача согласованного управления каждым из летательных аппаратов для решения единой целевой задачи, поставленной перед группой.

Для разработки мультиагентной адаптивной системы управления для группы БПЛА должны выполняться два основных требования:

1. На каждой модели должен быть небольшой, но мощный микрокомпьютер для работы в реальном времени как автопилот, а также для общения агентов между собой.
2. Необходимо организовать уверенный информационный обмен между агентами группы, например, с помощью радиоканала(-ов).

В настоящей работе рассматривается решение второго необходимого требования, а именно: реализация алгоритмов, программно-математического и аппаратного обеспечения для управления группой БПЛА при помощи радиоканала с учетом возможности автономного общения внутри группы.

## Назначение БПЛА в целях реализации различных задач

Три четверти века назад в Великобритании в воздух был поднят первый беспилотный радиоуправляемый самолет. С этого момента в большинстве стран не прекращались работы по разработке систем управления беспилотными летательными аппаратами.

В современном мире существует большое количество прототипов и летающих БПЛА. В большей степени это летательные аппараты, применяемые в военных целях.

Основными свойствами БПЛА самолетного и вертолетного типов, выгодно отличающими их от пилотируемых самолетов и вертолетов, являются:

* Более высокая выживаемость БПЛА в условиях противодействия средств ПВО противника вследствие их меньшей заметности во всех диапазонах радиоволн;
* Возможность их взлета практически при любом рельефе местности без проведения подготовительных инженерных работ;
* Способность пребывания в высоких степенях готовности практически неограниченное время;
* Более короткие сроки и меньшая стоимость обучения операторов наземных пунктов управления БПЛА по сравнению с подготовкой экипажей пилотируемых ЛА;
* Значительно меньшие стоимость (на один-два порядка в зависимости от целевого предназначения и параметров БПЛА) и сроки развертывания их серийного производства;
* Возможность выдачи информации потребителям практически в реальном масштабе времени;
* Способность функционировать в условиях высокого радиоактивного, химического и бактериологического заражения воздуха и местности, а также при неблагоприятных метеоусловиях;

На современном этапе развития БПЛА зарубежные военные специалисты планируют существенно расширить зону возможного применения БПЛА не только для решения задач разведки и наблюдения, но и для поражения наземных и воздушных целей, а также выполнения ряда задач боевого применения.

В частности проводятся эксперименты, связанные с разведкой погоды в районе боевых действий (сбор и передача данных о скорости ветра и атмосферном давлении), для чего применяются БПЛА, оборудованные специальной метеорологической аппаратурой. Кроме того, с использованием БПЛА изучается возможность выполнения лазерного подсвета наземных целей для применения высокоточного оружия (ВТО) наземного или воздушного базирования. При этом следует заметить, что основным видом БПЛА в настоящее время являются БПЛА самолетных схем.

Разработкой БПЛА вертолетного типа занимаются специалисты практически всех ведущих стран мира. Их основным заказчиком являются различные военные и гражданские специальные службы.

Управление такими БПЛА осуществляется в настоящее время по командам оператора или в полуавтоматическом режиме с использованием навигации по опорным точкам.

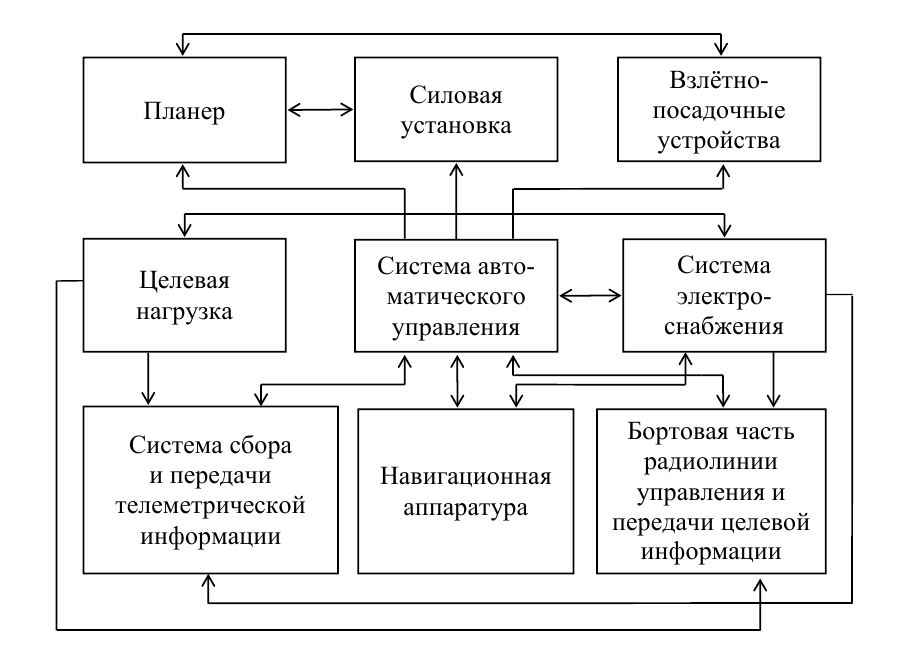
Главное преимущество БПЛА вертолетного типа состоит в вертикальном взлете и посадке, значительно упрощающих вопросы эксплуатации с точки зрения применяемого стартово-посадочного оборудования.

### *Состав и классификация БПЛА*

Беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) будем обозначать ЛА, не имеющий на борту пилота, использующий силу тяги двигателей и аэродинамические силы для многократных полетов в атмосфере, имеющий целевую нагрузку, определяющую его назначение, и осуществляющий полет как по заранее заданной программе, так и при необходимости с использованием дистанционного (радиокомандного) управления [2].

В настоящее время резко возрастает роль программного управления БПЛА. Это связано с общемировой тенденцией увеличения уровня автономности БПЛА при решении поставленных целевых задач, особенно в составе находящихся в воздухе группировок БПЛА.

Преимущественное использование программного управления БПЛА дополнительно объясняется необходимостью разгрузки операторов.

Типовой состав БПЛА представлен на Рис.1

Приведем классификацию БПЛА по основным конструкционным и функциональным признакам.

По конструкционным признакам существующие и перспективные БПЛА разбиваются на следующие виды:

* БПЛА самолетных схем;
* БПЛА вертолетных схем.

По типу использования в составе БПЛА силовых установок выделяются:

* БПЛА с электродвигателем;
* БПЛА с поршневым двигателем;
* БПЛА с воздушно-реактивным двигателем.

По возможностям решения целевых задач БПЛА подразделяются на следующие типы:

* БПЛА ближнего действия с длительностью полета 1-2 часа;
* БПЛА среднего действия с полетным временем 6-12 часов;
* БПЛА дальнего действия с продолжительностью полетов 24-48 часов.

По взлетной массе БПЛА разделяют:

* Сверхлегкие (до 5кг);
* Легкие (до 200кг);
* Средним (до 1000кг);
* Тяжелым (более 1000кг).

По высоте полета БПЛА делятся на:

* Низковысотные (до 1 000м);
* Средневысотные (до 10 000м);
* Высотные (до 15 000 – 20 000 м).

По назначению БПЛА разбиваются на:

* Стратегические;
* Тактические;
* Специального назначения.

Конкретизируя классификацию БПЛА по функциональному назначению получим следующую схему:



Отметим, что БПЛА гражданского назначения в настоящее время находятся в стадии становления.

К основным задачам БПЛА относятся:

* Мониторинг (контроль) подстилающей поверхности, атмосферы, объектов инфраструктуры и других объектов;
* Ретрансляцию радиосигналов;
* Доставку и сброс грузов.

Областями возможного применения БПЛА гражданского назначения являются:

* Топливно-энергетический комплекс (контроль состояния нефте- и газопроводов, линий электропередач и т.д.);
* Службы ликвидации чрезвычайных ситуаций (мониторинг техногенных и природных катастроф, обеспечение спасательных операций и т.д.);
* Службы безопасности (контроль нарушения границ объектов, поиск нарушителей и др.);
* Судоходство (поиск и обнаружение судов, терпящих бедствие, судов-нарушителей, контроль границ и правил рыболовства и др.);
* Сельское хозяйство (наблюдение за состоянием земель и определение характеристик почв, распыление удобрений и ядохимикатов и т.д.);
* Океанология (мониторинг воздушной и водной сред);
* Метеорология (контроль гидрометеобстановки, экологической мониторинг и т.п.);
* Геологоразведка (поиск полезных ископаемых в труднодоступных районах, поверхностное зондирование Земли и др.).

### *Развитие технологий БПЛА*

В настоящее время беспилотные летательные аппараты самолетной и вертолетной схем разрабатываются и производятся в более чем 30 странах мира. Лидером в данной области являются США.

Отечественная беспилотная авиационная техника, которая зародилась в 60-70 годах прошлого столетия, переживает в настоящее время кризис своего развития. Это связано с высоким уровнем аварийности существующих образцов БПЛА. Причинами аварийности являются неудовлетворительные характеристики управляемости и устойчивости БПЛА, недостатки в их системах управления, линиях передачи информации, недостаточной прочности конструкции БПЛА и плохими навыками операторов управления.

Другой причиной высокой аварийности БПЛА является тот факт, что до настоящего времени БПЛА рассматриваются и эксплуатируются на практике в основном как дистанционно пилотируемые ЛА (ДПЛА). Последнее означает, что основным режимом управления полетом БПЛА является ручной радиокомандный режим, реализуемый оператором с мобильного наземного пункта управления, входящего в состав беспилотного авиационного комплекса.

Пренебрежение сложными программными режимами управления полетами БПЛА, когда программируются только их прямолинейные траектории движения между поворотными пунктами маршрута, за счет объективных ошибок операторов управления и приводит к их высокой аварийности. К причинам таких ошибок можно отнести сложность точного пилотирования ДПЛА по удаленному изображению местности на экране оператора, запаздывание и помехи в радиолинии управления, внезапные порывы ветра, усталость операторов и др. Кроме этого, применение БПЛА как ДПЛА не позволит по психофизиологическим ограничениям операторов обеспечить применение крупных группировок БПЛА, когда каждый оператор должен управлять несколькими находящимися в воздухе БПЛА [2].

В табл. 1 приведены данные, полученные специалистами ВВИА им профессора Н.Е. Жуковского, отражающие выраженную в процентах степень замещения летчика современного боевого ЛА автоматом при выполнении различных полетных операций.

***Степень замещения функции летчика автоматом***

*Таблица 1*

|  |  |
| --- | --- |
| ***Полетные операции*** | ***Степень замещения летчика автоматом***  ***(%)*** |
| Управление движением самолета в полете (выбор траектории, направления и режима полета) | **40** |
| Принятие решения на применение авиационных средств поражения | **80** |
| Действия в особых случаях полета при отказе бортовых систем | **12** |
| Вывод из опасного режима полета | **95** |
| Управление полетом при невозможности выполнения летчиком своих функций | **100** |
| Поиск, идентификация воздушной цели в условиях ближнего воздушного боя | **25** |
| Поиск, идентификация воздушной цели в условиях воздушного боя на средних и дальних дистанциях | **95** |
| Атака наземной (надводной) цели | **25** |
| Взлет, посадка, полет по маршруту | **45** |
| Боевое маневрирование, выбор маневра, уклонение от угрозы | **10** |
| Управление ЛА при повреждении планера, его систем, выдача рекомендаций | **5** |

### *Варианты управления БПЛА*

В зависимости от типа управления беспилотные летательные аппараты делятся на: неуправляемые, дистанционно-пилотируемые и автономные. Долгое время основную часть БПЛА составляли дистанционно-пилотируемые аппараты. Сегодня на смену дистанционно-пилотируемым аппаратам приходят автономные аппараты, способные самостоятельно выполнять поставленную задачу при минимальном вмешательстве человека-оператора.

Несмотря на то, что широко известные модели БПЛА по размерам соизмеримы с пилотируемыми летательными аппаратами, 95% всех БПЛА составляют именно микро- и миниБПЛА, что свидетельствует о большой востребованности малоразмерных БПЛА.

Одним из основополагающих факторов, выступающих в пользу малогабаритных БПЛА, является цена их производства. Несмотря на то, что производство единичных опытных образцов мини- и микроБПЛА нельзя считать дешевым, тем не менее, расчеты стоимости серийных образцов в случае их массового производства обнадеживают. Для сравнения, стоимость одного полноразмерного аппарата составляет около 10 млн долларов США, в то время как стоимость миниБПЛА лежит в пределах 20-30 тысяч долларов, а расчетная стоимость микроБПЛА при их массовом производстве оценивается в 10 долларов за единицу [4].

Массовое производство малоразмерных БПЛА приведет не только к удешевлению единичного образца, но и к возможности их группового применения. Использование групп и комплексов малоразмерных БПЛА позволит существенно расширить область их применений. Ряд проблем, стоящих сейчас на пути применения малоразмерных БПЛА, отпадает при групповом применении.

## Системы и алгоритмы управления группой БПЛА

Для того чтобы практически реализовать те преимущества, которые достигаются в результате включения БПЛА в состав смешанных тактических групп, разработчикам БПЛА необходимо решить ряд задач технического и тактического характера:

* обеспечение требуемой степени живучести БПЛА;
* оснащение БПЛА радиоэлектронной аппаратурой согласно требованиям малой заметности. Собственные излучения являются сильными демаскирующими признаками, что повышает вероятность поражения БПЛА (например, наводящимися на излучение ракетами);
* обеспечение устойчивой связи с удаленными абонентами во время проведения радиоэлектронной атаки (собственные помехи могут привести к невозможности оперативной корректировки задач БПЛА и срыву передачи разведывательной информации другим потребителям). Одной из возможных мер является повышение степени автономности аппарата. Линии связи должны быть защищены также и от воздействия средств РЭП со стороны противника;
* обеспечение передачи больших объемов информации в реальном масштабе времени. Практически невозможно запрограммировать БПЛА на все те изменения боевой обстановки, которые могут возникнуть в ходе выполнения целевой задачи. Решение о корректировке задач может быть принято оператором на станции управления, но для этого он должен получить исчерпывающую информацию об обстановке;
* обеспечение высокой степени надежности бортовых систем, поскольку от успешности применения БПЛА зависит безопасность пилотируемых платформ.
* Кроме того, БПЛА должны в значительной степени обладать свойствами автономности, чтобы функционировать в условиях временно потерянной или неустойчивой связи со станцией управления;
* достижение согласованности действий с экипажами пилотируемых летательных аппаратов.

Проведенный анализ современного состояния и перспектив развития БПЛА однозначно указывает, что по своим техническим и функциональным возможностям они могут выступать в качестве эффективного дополнения к пилотируемым ЛА в составе смешанных тактических групп. Однако, преимущества, достигаемые в результате перехода к подобным смешанным тактическим группам ЛА проявляются по-разному в зависимости от специфики конкретных целевых задач, на решение которых они ориентированы.

Важнейшим концептуальным моментом с точки зрения организации управления смешанной тактической группой ЛА является роль и место БПЛА в боевых действиях будущего. По этому поводу среди военно-научных специалистов продолжается дискуссия. Часть авторитетных военачальников и авиационных командиров сомневаются, смогут ли БПЛА, действующие в соответствии с формальной логикой, быстро ориентироваться в обстановке, отличной от ожидаемой, даже при наличии управляющих ими высококвалифицированных операторов. Не забывают сказать они и о малой эксплуатационной надежности таких аппаратов, сложности управления ими, особенно если в воздухе находится большое количество БПЛА. Конечно, по мнению военного руководства, перспективные БПЛА будут способствовать росту боевой мощи ВВС и может быть даже несколько потеснят пилотируемые ЛА, но в силу свойственных им недостатков их роль будет заключаться главным образом в том, чтобы обеспечивать боевые действия авиации и наносить удары по известным объектам противника в относительно несложной обстановке.

Другая, большая часть компетентных в вопросах строительства БПЛА профессионалов утверждает обратное. В качестве аргументов приводятся возрастающий уровень потерь экипажей пилотируемых самолетов по мере развития систем ПВО, а с другой - еще непознанные возможности логики технических, технологических решений боевого применения БПЛА, открывающие новые перспективы.

Немаловажное значение приобретают и такие факторы, как относительно небольшая стоимость производства и отсутствие необходимости затрат на подготовку летного состава. Американские авиационные эксперты подсчитали, что ВВС США ежегодно расходуют на первоначальное обучение одного летчика около 2 млн долларов, а на поддержание уровня натренированности летного состава только тактических истребителей F-16 (около 2 тыс. человек) - 1 млрд. В этом контексте специалисты по безопасности полетов отмечают парадоксальный момент, суть которого сводится к такому тезису: «с ростом надежности авиационной техники увеличивается число авиационных происшествий из-за человеческого фактора». Указывается также на необходимость привлечения для обеспечения боевых действий авиации частей и подразделений дозаправки топливом, РЭБ, поиска и спасения экипажей и другие. Боевые БПЛА считаются экономически выгодными по сравнению с крылатыми ракетами, каждая из которых стоит более 1 млн долларов и применяется лишь однократно.

То есть, как пилотируемые, так и беспилотные авиационные комплексы имеют собственные преимущества и недостатки. Учитывая это, большинство военных аналитиков считают, что в обозримом будущем должны активно развиваться и применяться как беспилотные, так и пилотируемые средства, дополняя друг друга в разумном сочетании в плане их боевых возможностей. При этом чем опаснее будет обстановка и больше степень риска для экипажей, тем острее будет ощущаться необходимость применения беспилотных летательных аппаратов. При определении места БПЛА в смешанной авиационной группировке отмечается, что они могут включаться в боевые порядки авиации или следовать с некоторым опережением на дистанции, исключающей своевременный перенос огня зенитных средств по идущим вслед за ними пилотируемым ударным группам. При подходе к объектам БПЛА надлежит первым произвести доразведку и обнаружение целей, а также подавление средств ПВО и нанести по ним удары маломощными боеприпасами до подхода пилотируемых самолетов с более мощными средствами поражения [3].

### *Системы на основе «роевого интеллекта»*

Одной из серьезных проблем, стоящих на пути использования малоразмерных БПЛА, являются сложности в обеспечении радиосвязи с операторским пультом управления. Дело в том, что малые размеры накладывают существенные ограничения на запас бортового энергоресурса, большая часть которого предназначена для обеспечения движения, и лишь небольшая часть энергоресурса может использоваться приемопередающей аппаратурой. Таким образом, мощность радиопередатчиков сильно ограничена. Небольшие размеры БПЛА также ограничивают размер.

Одним из решений этой проблемы является использование нацеленных наземных антенн для сопровождения аппарата по линии визирования, очевидно, что такой подход существенно ограничивает область применения малоразмерных БПЛА.

Использование групп БПЛА делает вопрос обеспечения связи еще более актуальным. При централизованных стратегиях управления каждому БПЛА требуется канал связи с пропускной способностью в несколько Мбит/с для передачи изображений и другой информации об окружающей среде. Частичным решением проблемы может послужить использование централизованных иерархических стратегий управления, при которых связь с центральным устройством управления есть лишь у некоторых БПЛА, каждый из которых передает команды аппаратам своей подгруппы, причем дистанции между аппаратами подгруппы относительно невелики, а, следовательно, и энергозатраты на такую передачу не столь существенны. Тем не менее, необходимость постоянной связи БПЛА верхнего уровня иерархии с центральным устройством управления остается проблемой.

В качестве решения проблемы информационного обмена в группах БПЛА можно использовать методы роевого интеллекта.

Роевой интеллект – это дисциплина, которая изучает природные и искусственные системы, состоящие из большого количества отдельных объектов (особей, агентов и т.п.), которые осуществляют децентрализованное управление на основе принципов самоорганизации. В частности, эта дисциплина сосредоточена на коллективном поведении в результате локальных взаимодействий отдельных объектов между собой и с окружающей средой. Роевой интеллект описывает коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы, природного или искусственного происхождения.

В группе БПЛА, взаимодействующей на основе роевого интеллекта, каждый аппарат осуществляет взаимодействие лишь с некоторыми, ближайшими к нему в данный момент, аппаратами. При этом дальность связи и энергозатраты на информационную передачу относительно невелики. БПЛА принимает решение о текущем поведении, опираясь на самостоятельно собранные данные об окружающей среде, а также на те данные, которые передают соседние аппараты. Энергозатратная связь с центральным устройством управления осуществляется лишь изредка, и, возможно, не всеми аппаратами группы, лишь для того, чтобы получить информацию о задачах, стоящих перед группой, и для того чтобы передать отчетную информацию о состоянии группы и ходе выполнения поставленной ранее задачи.

Использование роевых методов взаимодействия в группах БПЛА помогает решить еще одну проблему малоразмерных БПЛА – сбор данных об окружающей среде. Дело в том, что малые габариты аппарата существенно ограничивают доступный набор бортовых сенсорных устройств. Ограниченный энергоресурс также неблагоприятно сказывается на допустимые энергозатраты средств сбора данных об окружающей среде, что приводит к уменьшению радиуса работы активных средств сбора данных, таких как лазерные дальномеры, ультразвуковые датчики и т.п. Эти ограничения приводят к тому, что малоразмерный БПЛА способен самостоятельно собрать информацию лишь об относительно небольшой области пространства вокруг себя. Тем не менее, для обеспечения устойчивого полета аппарату необходимы данные неподвижных и движущихся препятствий, расположенных в значительно большей зоне, особенно по курсу движения. При роевом взаимодействии в группе БПЛА соседние аппараты обмениваются информацией об окружающей среде, расширяя доступные друг другу сведения о препятствиях, воздушных потоках, и других важных параметрах среды.

### *Прикладные многоагентные системы управления*

Проблема коллективного поведения и группового управления не является новой и исследуется уже в течение нескольких десятилетий, начиная с классических работ Дж. Фон Неймана, М. Цейтлина, В. Варшавского и Д. Поспелова и др. Ее актуальность возрастает год от года, причем в настоящее время проблема группового управления ставится уже по-новому, а для ее решения требуются новые парадигмы концептуализации, новые модели формализации и новые архитектуры построения, что, в свою очередь, требует создания новых технологий проектирования и программной реализации. Обусловлено это, прежде всего, особенностями современных прикладных задач группового управления, в частности, значительным возрастанием их масштабности, необходимостью обеспечить согласованное функционирование большого количества гетерогенных подсистем, организованных в сеть, различные узлы которой могут работать в различных операционных средах и использовать различные коммутационные протоколы. В таких приложениях самыми трудными оказываются две очень разные задачи, а именно: обеспечение эффективной координации группового поведения и создание программной инфраструктуры (платформы) поддерживающей взаимодействие большого количества разнородных устройств и программ.

С точки зрения архитектуры современные приложения характеризуются такими свойствами, как открытость и автономность. Открытость понимается как способность прикладной системы группового управления изменять в процессе работы свою структуру (за счет изменения количества автономных подсистем и структуры их связей), а автономность понимается как способность объектов приложения формировать и изменять при необходимости свои текущие цели, функционировать без вмешательства человека и осуществлять самоконтроль над своими действиями и внутренним состоянием.

Также появляются требования к информационным технологиям:

* Сетевая организация с очень большим числом узлов.
* Большое число источников, генерирующих огромные потоки данных, которые технически невозможно хранить в каком-либо централизованном хранилище. Для последующего решения задач анализа и принятия решений в архитектуре с централизованной обработкой могут потребоваться вычислительные средства нереальной производительности;
* Открытость систем, когда состав узлов сети и ее топология постоянно изменяются. Действительно, беспилотные летательные аппараты, формирующие распределенную систему наблюдения, могут прекращать свое существование в любой момент времени;
* Конфиденциальность данных отдельных источников, поскольку данные могут попадать под понятие военной или государственной тайны, носить коммерческий характер и т.п.;
* Сочетание автономности задач, которые решаются программными сущностями, установленными в различных узлах сети, с необходимостью координации поведения и кооперации соответствующих автономных программ.

### *Адаптивное управление автономной группой БПЛА*

Как было сказано ранее, большинство современных систем управления группой БПЛА характеризуются отсутствием автономной постановки новых задач, позволяющей группе оперативно принимать эффективные решения по изменению сценария выполнения поставленной задачи. Типичными примерами событий, вызывающих необходимость в постановке новых задач, являются: появление новой выгодной информации, для более эффективного выполнения задачи; выход из строя части имеющихся ресурсов; а также изменение критериев принятия решений. Чем выше неопределенность, чем более распределенный характер имеют процессы принятия решений и чем чаще случаются незапланированные события, тем ниже эффективность существующих систем, неспособных самостоятельно принимать решения и автоматически перестраиваться под изменения в среде. Кроме того, любая модификация схем принятия решений в традиционных системах представляет собой весьма сложный и трудоемкий процесс и требует высокой квалификации исполнителей, что делает разработку и эксплуатацию рассматриваемых систем крайне дорогостоящими.

Для решения подобных проблем применяются мультиагентные технологии. В основе этих технологий лежит понятие «агента», программного объекта, способного воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными.

Характерными особенностями интеллектуальных агентов являются:

* Коллегиальность, т.е. способность к коллективному целенаправленному поведению в интересах решения общей задачи.
* Автономность, т.е. способность самостоятельно решать локальные задачи.
* Активность, т.е. способность к активным действиям ради достижения общих и локальных целей.
* Информационная и двигательная мобильность, т.е. способность активно перемещаться и целенаправленно искать и находить информацию, энергию и объекты, необходимые для кооперативного решения общей задачи.
* Адаптивность, т.е. способность автоматически приспосабливаться к неопределенным условиям в динамической среде.

Эти возможности кардинально отличают мультиагентные системы от существующих «жестко» организованных систем управления группы автономных БПЛА.

Для разработки мультиагентной системы для группы БПЛА желательно выполнение двух основных требований:

1. На каждой модели должен быть небольшой, но мощный микрокомпьютер для работы в реальном времени как автопилот, а также для общения агентов между собой.
2. Необходимо организовать уверенную связь между агентами группы.

### Решение задачи об обнаружении источников радиосигнала группой БПЛА

Для того, чтобы наглядно продемонстрировать преимущество группы летательных аппаратов перед одним, приведем в качестве примера решение конкретной задачи об обнаружении источников радиосигнала. Пусть у нас есть несколько источников радиосигнала и несколько БПЛА, оборудованных сверхчувствительными датчиками, способными улавливать мощность радиосигнала. Перед экспериментом число источников нам неизвестно. Известно, что они могут перемещаться, но при этом все они вещают на одной частоте.

Одному БПЛА никогда не решить такую задачу точно. Это связано с тем, что каждый ЛА в отдельности получает зашумленный сигнал. Однако, группе удается точно и быстро определять правильное местонахождение источников.

Разработанная для этой задачи модель использует 3 ключевые идеи в своем решении:

1. Каждый БПЛА использует байесову сеть для построения распределения вероятности нахождения источника радиосигнала в каждой конкретной точке. Для построения сети он использует не только свои данные, но и выборочные показатели сигнала, пересылаемые другими летательными аппаратами. Таким образом, каждый БПЛА для каждой точки облетаемой территории высчитывает вероятность нахождения источника сигнала в данной точке.
2. Каждый самолет имеет свой планировщик маршрута, который на вход принимает начальную точку пути, карту энтропии, полученную аппаратом, маршруты других самолетов, карту местности, а на выходе координаты дальнейшего полета. Планировщик стремится решить две основные задачи: облететь точки с максимальной энтропией информации, дабы максимально уточнить картину мира, и пролететь над участками, которые не исследованы другими участниками группы.
3. По карте распределения вероятности нахождения источников определить группу мест в которые необходимо направить БПЛА.

Проводя итог краткого описания задачи, заметим, что она имеет множество важных применений. Прежде всего – военная разведка и поиск людей, которых можно обнаруживать по сигналу, например, исходящему от телефона.

# Специальная часть

## Разработка алгоритма группового взаимодействия с использованием радиоканала

В настоящее время исследования и разработки в области систем группового управления ведутся во многих странах, в них вовлекаются большие коллективы людей, исследования и разработки проводятся во многих направлениях. Тем не менее, до сих пор не создано (информационной) технологии, которая была бы в состоянии справиться с реализацией приложений в области группового управления с учетом особенностей, отмеченных в главе 2.2.

В настоящей работе ставится цель решить вторую основную задачу создания адаптивной мультиагентной системы, а именно: необходимо организовать уверенный информационный обмен между агентами группы, а также связь группы с наземным комплексом управления (базовой станцией).

Как было сказано в главе 3.1, из-за ограниченных размеров БПЛА и, как следствие, ограниченных размеров энергоресурса (аккумуляторной батареи) и антенны, нет возможности использовать мощный радиопередатчик для постоянной связи каждого отдельного агента группы с базовой станцией и отдаленными агентами внутри группы. Решением такой проблемы является использование маломощных передатчиков для связи внутри группы и мощного передатчика для связи с базовой станцией. Также, для обеспечения незаметности группы, имеет смысл использовать маломощные шумоподобные сигналы.

Из сказанного выше следует, что необходимо иметь по 2 приемопередатчика на борту каждого агента (БПЛА) группы. Один будет отвечать за связь отдельно взятого БПЛА с другими БПЛА внутри группы, второй будет отвечать за связь группы с базовой станцией.

### *Организация управляющего канала «пункт управления – группа БПЛА»*

Современные условия диктуют тенденцию делать группу БПЛА более автономной, однако сама группа, а также базовая станция должны иметь возможность в любой момент времени связаться друг с другом.

Группа БПЛА может удаляться от пункта управления на большие расстояния, следовательно, для организации связи требуются мощные передатчики, расходующие большие затраты энергии. Как было сказано ранее, это неэффективно. Частичным решением проблемы является распределение доступа между агентами к использованию радиоканала для связи с базовой станцией.

При организации связи внутри группы (которая будет рассмотрена далее) каждый БПЛА получает необходимую информацию о состоянии других БПЛА. Состав этой необходимой информации может определяться под каждую конкретную задачу, а также зависит от необходимого минимального времени обновления информации о группе. Таким образом, чем больше информации надо знать о группе, тем больший объем занимает эта информация, как следствие, дольше передается. Так как доступ к эфиру распределен по времени, то каждому агенту группы, выделяется свой промежуток времени, в который он может использовать радиоканал.

Пример состав и содержание данных, находящихся в памяти контроллера каждого БПЛА и обновляющихся каждый промежуток времени, равный времени обновления информации о группе, приведен в табл.1.

***Примерный состав и содержание данных в памяти БПЛА***

*Таблица 2*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ID** | **RSSI** | **Координаты** | **Состояние** | **Выполняемая команда** |
| 1 | -110 | x, y, z | 000100 | 101010 |
| 2 | -44 | x, y, z | 101010 | 101010 |
| 3 | -35 | x, y, z | 111011 | 111010 |
| … | … | … | … |  |
| N | -78 | x, y, z | 010000 | 000100 |

В таблице столбцы содержат следующую информацию:

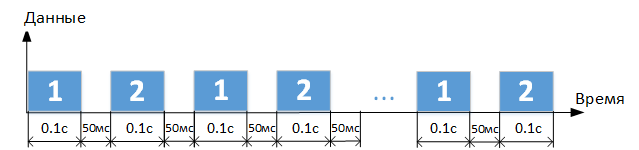
* ID – уникальный идентификатор приемопередатчиков каждого конкретного БПЛА;
* RSSI – уровень сигнала с базовой станцией (дб);
* Координаты – координаты БПЛА в произвольной системе координат;
* Состояние – состояние конкретного БПЛА, например: выполняет общую задачу, двигатель неисправен и т.д.;
* Выполняемая команда – уникальный идентификатор команды, которая выполняется в данный момент времени.

Надежность и энергоэффективность работы системы управления обеспечивается тем, что в каждый момент времени каждый элемент группы обладает одинаковой полезной информацией. Следовательно, с точки зрения информативности, все равно какой БПЛА будет связываться с пунктом управления. Поэтому связываться будет тот агент, который находится в наиболее выгодном положении в смысле энергоэффективности.

Важным фактором при построении системы управления с динамическим временным доступом к радиоканалу является определение самих временных характеристик. Главными из которых являются периодичность и продолжительность доступа. Для определения этих параметров следует отталкиваться от:

1. Скорость обработки поступающей информации микроконтроллером;
2. Динамические характеристики модуля радиоканала;
3. Необходимой частоты получения обновленной информации;

Проанализировав вышесказанное, установим время доступа к радиоканалу для группы и пункта управления равное 0.1с. Такая частота взаимодействия обеспечивает достаточную информативность для решаемых задач. Тогда временная шкала занятости радиоканала будет выглядеть следующим образом:



где 1 – канал под контролем пункта управления;

2 – канал под контролем группы.

Как видно, доступ к радиоканалу по очереди получает группа и базовая станция. Это определяется двумя факторами: а) Избежание коллизий смежных сигналов; б) Полудуплексный режим работы приемопередатчиков. Под коллизией подразумевается наложение двух и более пакетов, передающихся в одно и то же время по одному радиоканалу (на одной частоте).

Осталось определить кто именно из группы будет общаться с базовой станицей. Т.к. каждый элемент группы знает минимально необходимую информацию об остальных участниках группы (в том числе и RSSI с БС), исходя из принципа наименьших энергозатрат, доступ будет получать тот, у кого уровень RSSI с БС больше всех, а если есть пара агентов с одинаковым RSSI, то тот, у кого меньше уникальный ID.

Базовая станция может инициировать связь с конкретным агентом либо послать широковещательное сообщение всей группе.

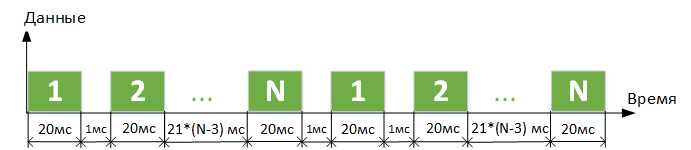
### *Организация взаимодействия внутри группы БПЛА*

Внутри группы БПЛА общаются при помощи маломощного радиомодуля. Во избежание коллизий в этом радиоканале также используется дифференцированный доступ к эфиру.

Каждый БПЛА при необходимости (обновлении полезной информации или через определенный промежуток времени) отправляет сообщение в строго отведенное для него время, а затем переходит в режим приема и анализирует информацию от других агентов.

Рассчитаем время, необходимое для передачи одного сообщения с учетом того, что средний размер пакета при общении внутри группы равен 23 байтам, а скорость передачи равна 55.5 kbps (далее будет приведено подробное обоснование выбора данных величин):

Выделим для передачи сообщения каждому БПЛА 20мс, чего будет с запасом достаточно. Тогда временна шкала занятости рассматриваемого радиоканала примет вид:



где 1.. N – уникальные идентификаторы приемопередатчиков каждого конкретного БПЛА, состоящего в группе

### *Работа внутригрупповой системы взаимодействия совместно с внешним каналом управления*

Основу алгоритма взаимодействия с пунктом управления составляет передача сводной таблицы, заполняемой при организации связи внутри группы.

Каждый раз когда базовая станция инициирует соединение с группой (или группа с БС), конечным агентом с которым установлена связь передаются данные таблицы. На основании этой таблицы оператор при помощи программно-математического обеспечения базовой станции принимает управленческие решения для всей группы.

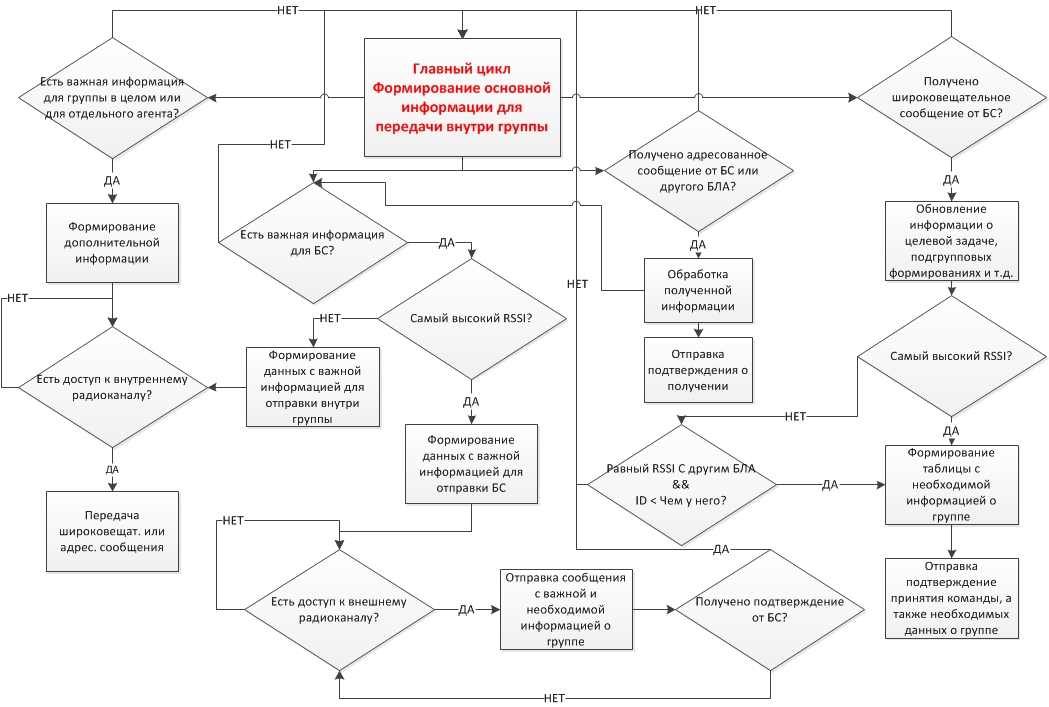
Управленческим решением БС является формирование кода команды, который способен распознать любой участник группы (коды команд закладываются перед выполнением целевой задачи в энергонезависимую память).

Отдельного внимания заслуживает механизм распространения команд от базовой станции по всей группе. Т.к. широковещательный радиосигнал от БС группе в силу неконтролируемых причин может не дойти до некоторых агентов, каждый БПЛА, при общении внутри группы вместе с другими данными передает 3 последние команды и время их получения от базовой станции. Следовательно, конечный участник группы, приняв такое сообщение и сопоставив последнюю команду с той, которая выполняется им в текущий момент времени, при несоответствии принимает решение о выполнении новой команды.

### *Блок-схема алгоритма взаимодействия*

Объединив вышесказанное, формализуем алгоритм группового взаимодействия:

1. В главном цикле все время формируется и обновляется таблица, указанная в главе 4.2;
2. С учетом доступа к внутреннему радиоканалу и обновлении полезной информации отправляем широковещательные сообщения группе с необходимой информацией;
3. Если есть важная информация для БС: формируем эту информацию, смотрим у кого в группе самый высокий RSSI, если у текущего БПЛА, то ждем доступа к внешнему радиоканалу и отправляем информацию БС, если у другого БПЛА, то отсылаем сформированную информацию ему с определенными пометками.
4. Если у текущего БПЛА самый высокий RSSI и было принято важное сообщение для БС от другого БПЛА, то ждем доступа к внешнему радиоканалу и отправляем сообщение БС.
5. Если получено сообщение от БС и у нас самый высокий RSSI или при равных RSSI меньший ID, то отправляем подтверждение базовой станции.



### *Содержание и объем передаваемой информации*

Для каждой решаемой задачи набор минимально необходимых данных, а также набор команд и другая вспомогательная информация будут отличаться. Определим приблизительный объем ***полезной*** информации, передаваемый в общем случае. Под полезной информацией подразумевается информация, которую непосредственно имеет смысл передавать, не включая технической информации для организации связи (пре-амбула, заголовок пакета, длина пакета, контрольная сумма и т.д.).

***Информация при общении внутри группы***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Необходимость | Объем, байт | Тип данных |
| Network ID | 1 | 1 | byte |
| Destination ID | 1 | 1 | byte |
| Sender ID | 1 | 1 | byte |
| RSSI | 1 | 1 | byte |
| State | 0.8 | 1 | byte |
| Commands | 0.8 | 6 | Array of byte |
| Coordinate’s | 0.5 | 12 | Array of float |
|  |  |  |  |
| **ИТОГО** |  | **23** |  |

где Network ID – уникальный идентификатор подсети, в которой находится БПЛА (необходим для разбиения группы на подгруппы);

Destination ID – уникальный идентификатор БПЛА, которому адресовано сообщение;

Sender ID – уникальный идентификатор БПЛА, отправляющего сообщение;

RSSI – уровень сигнала с базовой станцией;

State – состояние БПЛА;

Commands – массив из кодов последних выполняемых команд, а также временных меток, соответствующих получению этих кодов от БС;

Coordinate’s – координаты текущего БПЛА.

В итоге имеем размер полезной информации в общем случае, равный 23 байтам.

***Информация при общении с базовой станцией***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Необходимость | Объем, байт | Тип данных |
| Network ID | 1 | 1 | byte |
| Destination ID | 1 | 1 | byte |
| Sender ID | 1 | 1 | byte |
| Group\_state | 1 | 20 \* N | Array of Struct |
|  |  |  |  |
| **ИТОГО** |  | **3 + (20 \* N)** |  |

где Group\_state – таблица, представленная в главе 4.1.

В итоге имеем размер полезной информации, зависящий от количества БПЛА в группе, равный байтам.

Рассмотрим случай, когда группа состоит из 20 летательных аппаратов. Получаем размер, передаваемой БС полезной информации равный:

байт

Ранее было предположено, что максимальное время, за которое можно установить соединение базовой станции с группой и наоборот, равное 0.2 секундам, удовлетворяет большинству возможных решаемых задач. Рассчитаем время, за которое передается 403 байта при скорости 55.5kbps (подробное обоснование выбранной скорости будет приведено позднее):

### *Обеспечение контроля надежности и достоверности передаваемых сигналов управления*

Для обеспечения контроля качества организации связи приняты следующие меры:

* Acknowledge – механизм подтверждения сообщений. Основан на том, что каждое адресованное сообщение должно быть подтверждено. При неподтверждении, сообщение отправляется заново с учетом доступа к радиоканалу.
* Подсчет контрольной суммы сообщения. В настоящей работе был выбран алгоритм CRC.

При передаче пакетов по реальному каналу могут возникнуть искажения исходной информации вследствие разных внешних воздействий: электрических наводок, плохих погодных условий и многих других. Сущность методики в том, что при хороших характеристиках хэш-функции в подавляющем числе случаев ошибка в сообщении приведет к изменению вычисленного на приеме значения CRC. Если исходная и вычисленная суммы не равны между собой, принимается решение о недостоверности принятых данных, и запрашивается повторная передача пакета.

Контрольная сумма – некоторое значение, рассчитанное по набору данных путем применения определенного алгоритма и используемое для проверки целостности данных при их передаче или хранении. Также контрольные суммы могут использоваться для быстрого сравнения двух наборов данных на неэквивалентность.

С точки зрения математики контрольная сумма является результатом хеш-функции, используемой для вычисления контрольного кода – небольшого количества бит внутри большого блока данных. Значение контрольной суммы добавляется в конец блока данных непосредственно перед началом передачи или записи данных.

Циклический избыточный код (cyclic redundancy check) – алгоритм нахождения контрольной суммы. CRC является практическим приложением помехоустойчивого кодирования, основанном на определенных математических свойствах циклического кода.

Алгоритм CRC базируется на свойствах деления с остатком двоичных многочленов. Значение CRC является по сути остатком от деления многочлена, соответствующего входным данным, на некий фиксированный многочлен.

Каждой конечной последовательности битов взаимно однозначно сопоставляется двоичный полином , последовательность коэффициентов которого представляет собой исходную последовательность.

Значение контрольной суммы в алгоритме с порождающим многочленом степени определяется как битовая последовательность длины , представляющая многочлен , получившийся в остатке при делении многочлена , представляющего входной поток бит, на многочлен .

где – многочлен, представляющий значение CRC;  
 – многочлен, коэффициенты которого представляют входные данные;

– порождающий многочлен;  
 – степень порождающего многочлена.

### *Обеспечение информационной защищенности передаваемых данных*

Для обеспечения секретности все передаваемые данные шифруются с помощью алгоритма AES-128.

AES – симметричный алгоритм блочного шифрования (размер блока 128 бит, ключ 128/192/256 бит). Этот алгоритм хорошо проанализирован и сейчас широко используется правительствами многих стран.

Для работы алгоритма необходим набор байтов в качестве объекта шифрования и секретный ключ, который потребуется при расшифровке. В настоящей работе выбран 128 битный ключ.

Введем некоторые обозначения:

* State – промежуточный результат шифрования, который может быть представлен как прямоугольный массив байтов имеющий 4 строки и Nb колонок. Каждая ячейка State содержит значение размером 1 байт.
* Nb – число столбцов (32-х битных слов), составляющих State. Для стандарта регламентировано Nb = 4.
* Nk – длина ключа в 32-х битных словах. В данной работе Nk = 4, т.к. размер ключа 128 бит.
* Nr – количество раундов шифрования.

Алгоритм имеет четыре трансформации, каждая из которых своим образом влияет на состояние State и в конечном итоге приводит к результату: SubBytes(), ShiftRows(), MixColumns(), AddRoundKey().

Общую схему шифрования можно представить так:



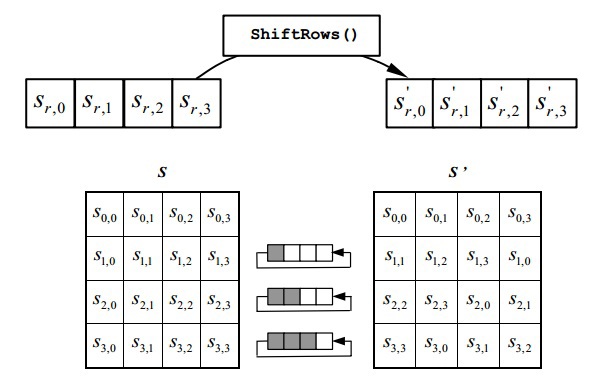
В начале заполняется массив State входными значениями по формуле

**

Важно понимать, что за раз шифруется блок размером 16 байт.

Далее рассмотрим каждую из трансформаций:

* SubBytes() – преобразование представляет собой замену каждого байта из State на соответствующий ему из константной таблицы Sbox. Значения элементов Sbox представлены в шестнадцатеричной системе счисления.
* ShiftRows() – выполняет циклический свдиг влево на 1 элемент для первой строки, на 2 для второй и на 3 для третьей. Нулевая строка не сдвигается.



* MixColumns() – четыре байта каждой колонки State смешиваются, используя для этого обратную линейную трансформацию. Т.е. каждая колонка State перемножается с фиксированным многочленом.
* AddRoundKey() – трансформация производит побитовый XOR каждого элемента из State с соответствующим элементом из RoundKey. RoundKey – массив такого же размера, как и State, который строится для каждого раунда на основе секретного ключа функцией keyExpansion().
* KeyExpansion() - вспомогательная трансформация. Формирует набор раундовых ключей, представляющих собой длинную таблицу, состоящую из Nr + 1 блоков, каждый из которых равен по размеру State. Первый раундовый ключ заполняется на основе секретного ключа аналогичным со State методом. Оставшиеся раундовые ключи (для AES-128 всего их будет 11) заполняются путем похожих преобразований на SubBytes() с помощью константной таблицы.

Общая идея алгоритма расшифровки проста: если с тем же ключевым словом выполнить последовательность трансформаций, инверсных трансформациям шифрования, то получится исходное сообщение.



### *Основные требования, предъявляемые модулям радиоканала*

Как было сказано ранее, необходимо использовать 2 приемопередающих устройства для каждого БПЛА: первый для связи внутри группы с использованием маломощных шумоподобных сигналов, второй для связи группы с базовой станцией. Определим основные требования, предъявляемые радиомодулям:

1. Приемопередатчик для связи внутри группы должен:

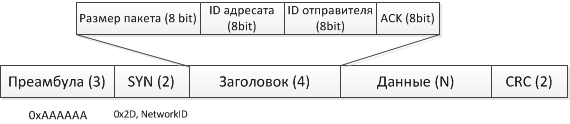
* Иметь скорость передачи данных, обеспечивающую надежную передачу информации внутри группы (с учетом расчетов, представленных в главе 4.5);
* Иметь уникальный идентификатор (адрес отправителя/получателя);
* Иметь аппаратную поддержку пакетной передачи данных;
* Иметь аппаратную возможность организации контроля качества сети (подсчет контрольной суммы для минимизации нагрузки, возлагаемой на микропроцессорное устройство);
* Иметь встроенные регистры для хранения данных;
* Иметь аппаратную поддержку широковещательного адреса;
* Иметь возможность работы в нескольких каналах;
* Иметь малое энергопотребление;
* Иметь малые габариты.

1. Приемопередатчик для связи с базовой станцией должен:

* Иметь импульсную мощность, достаточную для обеспечения надежной связи с базовой станцией;
* Иметь скорость передачи данных, обеспечивающую надежную передачу информации;
* Иметь возможность уходить в режим сна для более высокой энергоэффективности;
* Иметь уникальный идентификатор (адрес отправителя/получателя);
* Иметь аппаратную поддержку пакетной передачи данных;
* Иметь аппаратную возможность организации контроля качества сети (подсчет контрольной суммы для минимизации нагрузки, возлагаемой на микропроцессорное устройство);
* Иметь встроенные регистры для хранения данных;
* Иметь аппаратную поддержку определения RSSI;
* Иметь аппаратную поддержку широковещательного адреса;
* Иметь возможность работы в нескольких каналах;
* Иметь малое энергопотребление;
* Иметь малые габариты.

Как видно, многие требования, предъявляемые двум различным приемопередающим устройствам, пересекаются. Эту информацию необходимо использовать далее при выборе конкретной элементной базы.

### *Структура пакета данных, соответствующая предъявляемым требованиям*



### *Отработка критических ситуаций*

Разберем возможные критические ситуации, возникшие вследствие как внутренних так и внешних воздействий и реакцию системы на них.

1. *Выход из строя наземного комплекса управления*. Является самым тонким местом системы, но и самым защищенным. Во время неработоспособности комплекса управления, группа продолжает выполнение целевой задачи. Основой возвращения полной работоспособности системе является поддержка «горячей» замены ее элементов.
2. *Выход из строя одного или нескольких БПЛА.* В связи с выходом из строя БПЛА перестает отправлять широковещательные сообщения, содержащие данные о его состоянии. Через программируемый промежуток времени система начинает считать данные БПЛА утерянными. На выполнение целевой задачи данная критическая ситуация сказывается незначительно.
3. *Кратковременная потеря связи.* При кратковременной потери связи БПЛА продолжает выполнение целевой задачи и накопление важной информации. При возвращении связи, дополнительных операций проводить не требуется, так как система поддерживает «горячее» подключение и отключение ее элементов.
4. *Опасность обнаружения.* При возникновении опасности обнаружения оператором с наземного пункта управления передается специальный сигнал, активирующий режим «скрытности». Данный режим может настраиваться под каждую конкретную целевую задачу. Например: БПЛА перестают передавать сообщения по мощному внешнему радиоканалу и уменьшают мощность внутреннего или отключают оба радиоканала на передачу до получения команды, деактивирующей режим «скрытности».
5. *Потеря сигнала GPS/ГЛОНАСС.* Данные сигналы необходимы для синхронизации времени между БПЛА и базовой станции. Для решения данной критической ситуации на каждом модуле предусмотрены автономные часы реального времени, которые, в свою очередь, синхронизируются с GPS/ГЛОНАСС (при наличии сигнала).
6. *Выход из строя «внешнего» радиопередатчика на конкретном БПЛА.* Решение данной критической ситуации заложено в самом алгоритме. Связь конкретного БПЛА с наземным комплексом управления происходит с помощью других участников группы в штатном режиме.
7. *Выход из строя «внутреннего» радиопередатчика на конкретном БПЛА.* Так как группа перестает получать сообщения от данного БПЛА, данные в таблице о нем перестают обновляться. Через программируемый промежуток времени наземный комплекс делает предположение о «потере» данного БПЛА и (с учетом доступа к радиоканалу) делает адресованный запрос. В случае получения ответа на данный запрос происходит его перевод на «ручное» управление с базовой станции.

## Разработка программно-математического обеспечения

На основе разработанных алгоритмов было разработано следующее программно-математическое обеспечение:

* ПМО для микроконтроллера устройства сопряжения с оборудованием пункта управления;
* ПМО для микроконтроллера модуля на борту БПЛА;
* Программно-математическое обеспечение для ПЭВМ оператора.

### *Программно-математическое обеспечение устройства сопряжения с оборудованием пункта управления*

ПМО устройства сопряжения с оборудованием пункта управления разработано с использованием среды разработки(IDE) Arduino. В этой IDE имеется текстовый редактор, менеджер проектов, препроцессор, компилятор и инструменты для загрузки программы в микроконтроллер. Оболочка написана на языке программирования Java на основе проекта Processing. Поддерживает работу под всеми популярными операционными системами Windows, Mac OS X, Linux.

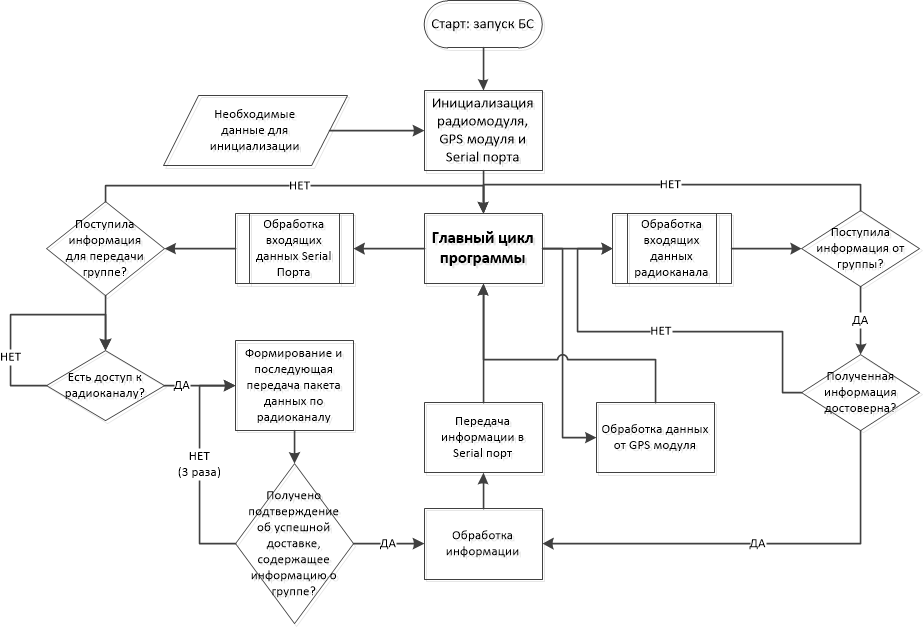
Язык программирования Arduino является стандартным C++ (используется компилятор AVR-GCC) с некоторыми особенностями.

Загрузка программы в микроконтроллер происходит через предварительно запрограммированный специальный загрузчик. Загрузчик создан на основе Atmel AVR Application Note AN109. Загрузчик может работать через интерфейсы RS-232, USB или Ethernet в зависимости от состава периферии конкретной процессорной платы.

Разработанное ПМО включает в себя модули:

* Организации передачи данных от радиомодуля и обратно с помощью протокола SPI;
* Организация обработки данных с модуля GPS/ГЛОНАСС;
* Организации взаимодействия с группой БПЛА с использованием радиомодуля с учетом ранее разработанного алгоритма;
* Организации передачи данных от устройства сопряжения к ПЭВМ с использованием Serial порта;

***Алгоритм***

******

Данный алгоритм выполняется с момента запуска наземного пункта до его выключения или выхода из строя за счет *главного цикла программы*.

При запуске базовой станции происходит необходимая инициализация радиомодуля, GPS/ГЛОНАСС модуля и Serial порта. Для этого нам необходимы данные о количестве БПЛА в группе, частота работы радиомодуля, скорость работы Serial порта, также скорость работы программного Serial порта, отвечающего за связь с GPS/ГЛОНАСС модуля.

В главном цикле на каждой итерации выполняется 3 основных ветки программы:

1. *Обработка входящих данных Serial порта –* в данном блоке ПМО анализирует данные, пришедшие по ранее инициализированному Serial порту. Если поступила информации, подлежащая передаче группе, то данная ветка откладывает свое выполнение до тех пор, пока не появится доступ к радиоканалу. При появлении доступа происходит формирование и последующая передача пакета данных. При неполучении подтверждения процедура передачи повторяется до 3 раз. При успешном подтверждении происходит обработка и последующая передача в Serial порт информации о группе. Далее данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу.
2. *Обработка входящих данных радиоканала –* в данном блоке ПМО анализирует данные пришедшие от радиомодуля. При поступлении достоверной информации происходит обработка и последующая передача в Serial порт. Далее данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу;
3. *Обработка данных от GPS/ГЛОНАСС модуля –*в данном блоке программа считывает и обновляет данные от GPS/ГОНАСС модуля. Для базовой станции основную ценность представляет точное время для последующей синхронизации с участниками группы.

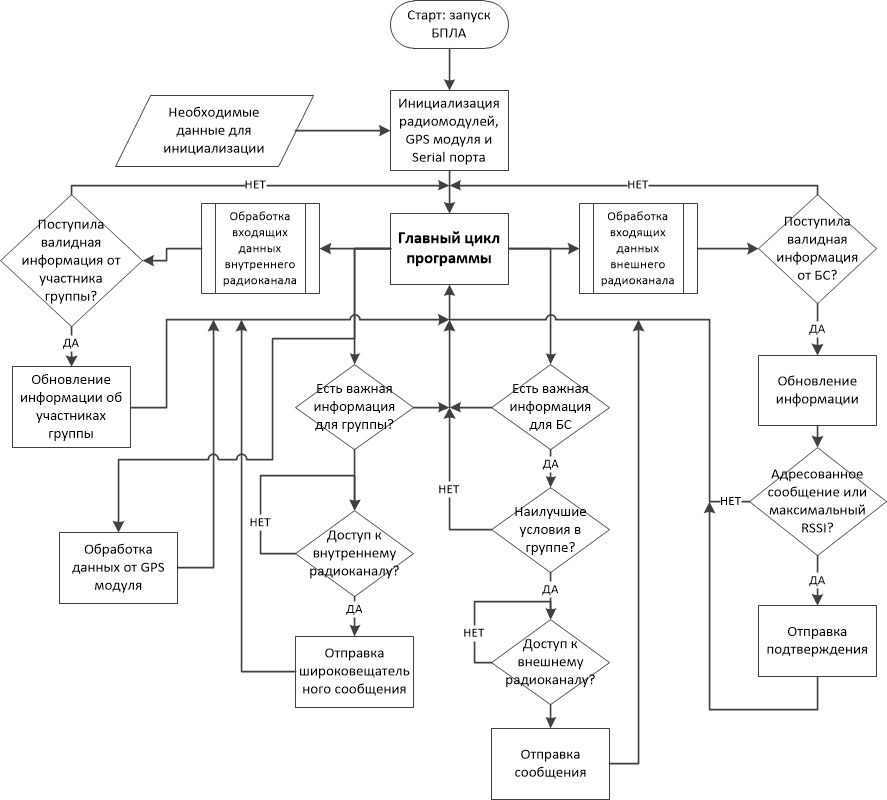
### *Программно-математическое обеспечение модуля на борту БПЛА*

ПМО модуля на борту также разработано с использованием среды разработки Arduino на языке программирования C++.

ПМО включает в себя модули:

* Организации передачи данных от радиомодулей и обратно с помощью протокола SPI;
* Организация обработки данных с модуля GPS/ГЛОНАСС;
* Организации взаимодействия с группой БПЛА с использованием радиомодуля с учетом ранее разработанного алгоритма;
* Организация взаимодействия с наземным пунктом управления с учетом ранее разработанного алгоритма.

***Алгоритм***

******

Данный алгоритм выполняется с момента запуска БПЛА до его выключения или выхода из строя за счет *главного цикла программы*.

При запуске БПЛА происходит необходимая инициализация радиомодулей, GPS/ГЛОНАСС модуля. Для этого нам необходимы данные о количестве БПЛА в группе, частоты работы радиомодулей, скорость работы программного Serial порта, отвечающего за связь с GPS/ГЛОНАСС модуля.

В главном цикле на каждой итерации выполняется 5 основных веток программы:

1. *Обработка входящих данных внутреннего радиоканала –* при поступлении валидной информации от другого участника группы происходит обновление таблицы, содержащей информацию обо всех элементах группы. Далее данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу;
2. *Обработка входящих данных внешнего радиоканала –* при поступлении валидной информации от наземного комплекса происходит обновление необходимой информации о структуре группы и выполняемой команде. Если сообщение было адресовано конкретно данному БПЛА или у этого БПЛА наиболее выгодные условия для связи с базовой станцией среди всех участников, то ПМО отправляет радиомодулю необходимую информацию о состоянии группы для подтверждения о получении сообщения. Далее данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу;
3. *Сформирована важная информация для группы –* при наличии важной информации для группы данная ветка откладывает свое выполнение до тех пор, пока не появится доступ к внутреннему радиоканалу. При появлении доступа программа отправляет необходимые данные радиомодулю для их последующей отправки. Далее данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу;
4. *Сформирована важная информация для наземного пункта –* при наличии важной информации для БС необходимо определить у кого в данный момент времени лучшие условия для связи (высший уровень сигнала с БС). Это возможно сделать, т.к. на борту каждого БПЛА хранится актуальная таблица, содержащая информация о каждом участнике (в том числе и его уровень сигнала с БС). Если самые выгодные условия у другого БПЛА, то данный блок возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу. Если же в лучших условиях находится данный БПЛА, то происходит отправка сообщения. Далее ПМО ожидает подтверждения о получении сообщения. При неполучении происходит повторная отправка сообщения (до 3-х раз). При получении подтверждения данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу;
5. *Обработка данных от GPS/ГЛОНАСС модуля –*в данном блоке программа считывает и обновляет данные от GPS/ГОНАСС модуля. Особую ценность представляет точное время для последующей синхронизации с участниками группы. Далее данный блок ПМО возвращает управление ходом выполнения программы главному циклу.

### *Программно-математическое обеспечение ПЭВМ оператора*

ПМО для ПЭВМ оператора разработано на языке программирования Java с использованием стандартных библиотек и библиотеки JSSC для работы с виртуальным Com-портом.

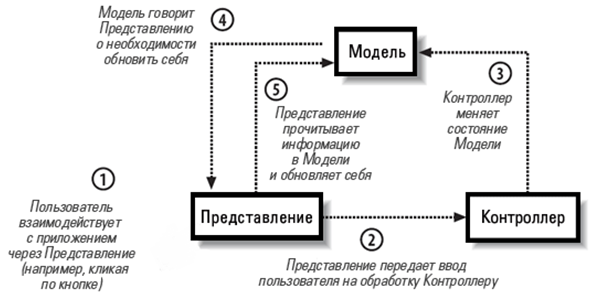
ПМО включает в себя модули:

* Организация взаимодействия с устройством сопряжения посредством виртуального COM-портом;
* Графический интерфейс для удобного ввода/вывода информации.

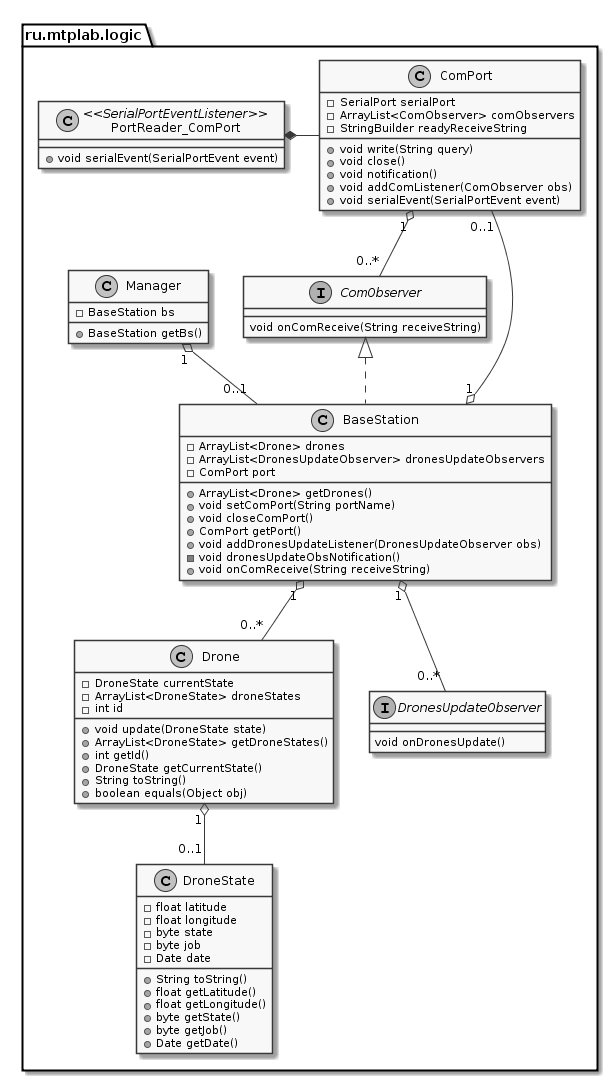
***Архитектура приложения***

Базовым шаблоном проектирования в архитектуре разработанного программно-математического обеспечения является (с некоторыми допущениями) MVC (model-view-controller).

Преимуществами такой архитектуры является возможность свободно и независимо друг от друга изменять модель, представление и контроллер. То есть изменения, сделанные в одной части приложения не обязывают дорабатывать другую часть приложения. Кроме того, он позволяет лаконично разграничить обязанности элементов системы, переносить представления на другие ЭВМ, ОС, использовать большое количество представлений для одной модели, также поддерживается обратная совместимость, то есть использование одного представления для отображения разных моделей, унаследованных от одного и того же интерфейса. Схема этого шаблона проектирования приведена ниже.

******

***Диаграмма классов модели***

******

*ComPort –* класс, отвечающий за взаимодействие с виртуальным Com портом ЭВМ оператора к которой подключается разработанное устройство сопряжения. Основными методами являются:

* **public** ComPort(String port) – конструктор, создающий соединение с портом;
* **public** void write(String query) - метод записи строки в ComPort;
* **public** void close() - метод, закрывающий соединение с портом;
* **public** void addComListener(ComObserver obs) – метод, добавляющий слушателя порта.

*ComObserver –* интерфейс наблюдателя Com порта. Необходим для реализации шаблона проектирования Observer.

*DronesUpdateObserver –* интерфейс наблюдателя за обновлениями информации о группе БПЛА. Необходим для реализации шаблона проектирования Observer.

*BaseStation –* класс-сущность, представляющий собой базовую станцию. В этом классе агрегирована информация обо всех БПЛА.

Основными методами являются:

* **public** void setComPort(String portName) – метод в котором происходит создание объекта класса ComPort;
* **public** void onComReceive(String receiveString) – переопределенный метод интерфейса ComObserver. Этот метод вызывается объектом ComPort, когда в порт поступили новые данные. В нем происходит обработка данных и последующая представление их в программных сущностях;
* **public** void addDronesUpdateListener(DronesUpdateObserver obs) – метод, добавляющий слушателей за обновлениями информации о БПЛА. Необходим для связи с представлением;

*Drone –* класс-сущность, представляющий собой отдельно взятый БПЛА. Единственной задачей этого класса является хранение информации о конкретно взятом БПЛА.

Основными полями являются:

* **private** int id – уникальный идентификатор БПЛА, совпадающий с уникальным идентификатором приемопередающих устройств на борту БПЛА;
* **private** ArrayList<DroneState> droneStates – список всех объектов класса DroneState для конкретного БПЛА.

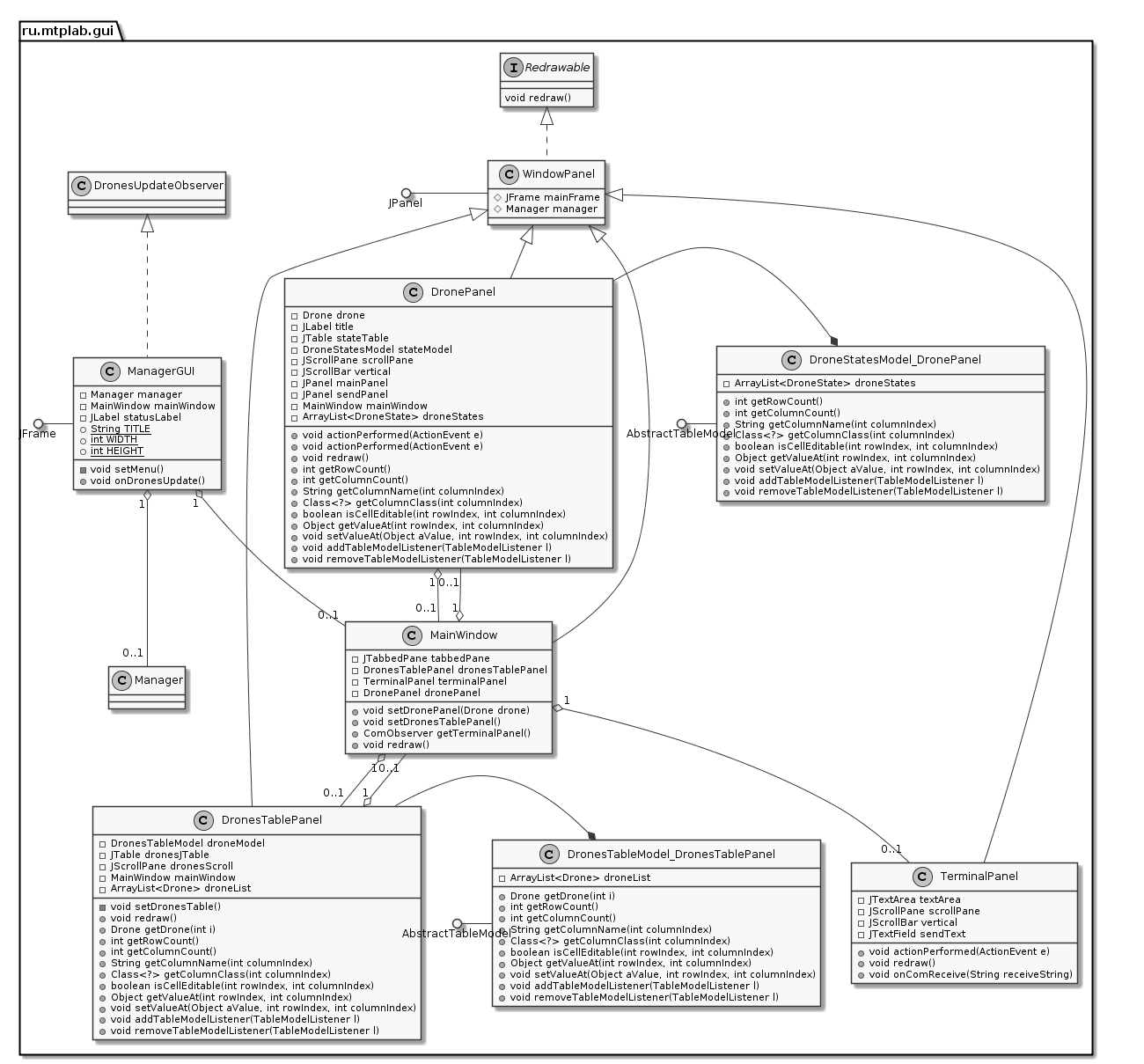
*DroneState –* класс-сущность, представляющий собой состояний конкретного БПЛА в некоторый момент времени.

Основными полями являются:

* **private** float latitude – информация о широте БПЛА;
* **private** float longitude – информация о долготе БПЛА;
* **private** byte state – информация о состоянии БПЛА;
* **private** byte job – информация о задании, выполняемом БПЛА;
* **private** Date date – временная метка.

В основе архитектуры модели лежит: класс *BaseStation*, реализующий интерфейс *ComObserver****.*** Также класс BaseStation хранит список всех БПЛА, которые в свою очередь хранят информацию обо всех своих состояниях. При поступлении информации в *ComPort* вызывается специальный метод BaseStation, который обрабатывает данные и обновляет информацию обо всей группе БПЛА. Далее класс *BaseStation* вызывает специальный метод интерфейса *DronesUpdateObserver* для оповещения другой части приложения – представления. Это необходимо для графического отображения обновленных данных пользователю.

***Диаграмма классов представления, совмещенного с контроллером***

******

*DronesUpdateObserver –*  интерфейс наблюдателя за обновлениями информации о группе БПЛА. Необходим для связи части представления с моделью.

*ManagerGui –* класс-менеджер, содержит в себе указатели на все необходимые объекты для управления приложением.

Основным методом является:

* **public** void onDronesUpdate() – метод, который вызывает BaseStation при обновлении информации о группе БПЛА;

*WindowPanel –* базовый класс для всех панелей приложения.

Основными полями являются:

* **protected** JFrame mainFrame – указатель на главный фрейм приложения. Необходим для смены панелей в главном фрейме;
* **protected** Manager manager – основной класс для работы с моделью приложения.

*MainWindow –* класс, наследуемый от класса WindowPanel. Представляет собой главную (стартовую) панель приложения. В нем содержится панель вкладок, в которой содержатся все остальные панели приложения.

Основными полями являются:

* **private** DronesTablePanel dronesTablePanel – ссылка на объект класса DronesTablePanel;
* **private** TerminalPanel terminalPanel – ссылка на объект класса TerminalPanel;
* **private** DronePanel dronePanel – ссылка на объект класса DronePanel.

*DronesTablePanel* – класс, наследуемый от класса WindowPanel. Представляет собой панель для отображения таблицы с текущим состоянием всех БПЛА группы.

Основными методами являются:

* **private** void setDronesTable() – метод, получающий данные о группе из модели и отрисовывающий таблицу;
* **public** void redraw() – метод обновляющий отображение таблицы при обновлении информации о группе БПЛА.

*DronePanel -* класс, наследуемый от класса WindowPanel. Представляет собой панель для отображения информации о конкретном БПЛА.

Основными методами являются:

* **public** DronePanel(**final** Manager manager, JFrame frame, **final** Drone drone, **final** MainWindow mainWindow) – конструктор, получает данные о конкретном БПЛА из модели и отрисовывает их;
* **public** void redraw() – метод обновляющий отображение таблицы при обновлении информации о конкретном БПЛА.

*TerminalPanel -* класс, наследуемый от класса WindowPanel. Представляет собой панель для отображения всей поступающей информации в Com порт. Необходим для отладки и при возникновении внештатной ситуации.

Основными методами являются:

* **public** TerminalPanel(**final** Manager manager, JFrame frame) – конструктор, отрисовывающий все необходимые элементы;
* **public** void onComReceive(String receiveString) – переопределенный метод интерфейса ComObserver. Вызываются при поступлении новой информации в Com порт.

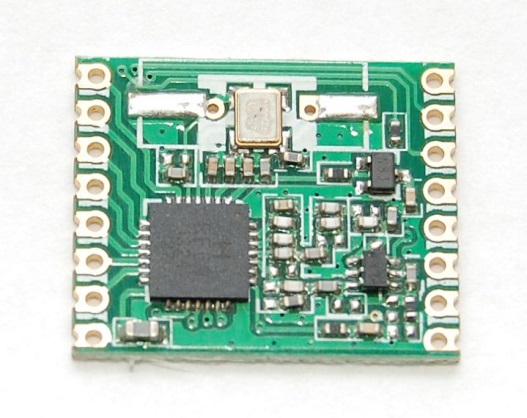
## Аппаратно-техническая реализация макета. Выбор элементной базы

### *Выбор приемопередающего радиомодуля*

В главе 4.7 были предъявлены основные требования к радиомодулям.

Проведя анализ рынка, был выбран модуль RFM69HW компании HopeRF, который с запасом удовлетворяет предъявляемым требованиям.

***Описание RFM69HW***



RFM69HW - это радио приемопередатчик, способный работать в широком диапазоне частот, в том числе 315MHz, 433MHz, 868MHz, 915MHz. Все основные параметры радиосвязи программируются и большинство из них можно динамически устанавливать. RFM69HW предлагает уникальные режимы связи, используя которые можно добиться низкой потребляемой мощности.

Основные параметры:

* Максимальная выходная мощность: +20дБм, 100мВт;
* Высокая чувствительность: -120дБм при 1.2kbps;
* Высокая селективность: 16-канальный фильтр;
* Низкий потребляемый ток: 16мА, в режиме поддержки значение регистров 100нА;
* Программируемая выходная мощность: от -18 до +20дБм с шагом в 1дБм;
* Интегрированный синтезатор с разрешением 61Гц;
* Поддержка FSK, GFSK, MSK, GMSK и OOK модуляций;
* Динамический диапазон RSSI;
* Встроенный аппаратный механизм подсчета контрольных сумм;
* Относительно малые габаритные характеристики;
* Связь с микроконтроллером посредством SPI.

Рассмотрим некоторые предъявляемые требования более подробней:

1. Энергопотребление.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Описание** | **Описание** | **Min** | **Typ** | **Max** | **Ед. изм.** |
| Спящий режим | - | - | 0.1 | 1 |  |
| “В холостую” | Вкл. RC генератор | - | 1.2 | - |  |
| Режим ожидания | Включен тактовый генератор | - | 1.25 | 1.5 |  |
| Режим приемника |  | - | 16 | - |  |
| Режим передатчика | RFOP = +20dBm | - | 130 | - |  |
| Режим передатчика | RFOP = +13dBm | - | 45 | - |  |
| Режим передатчика | RFOP = 0dBm | - | 20 | - |  |

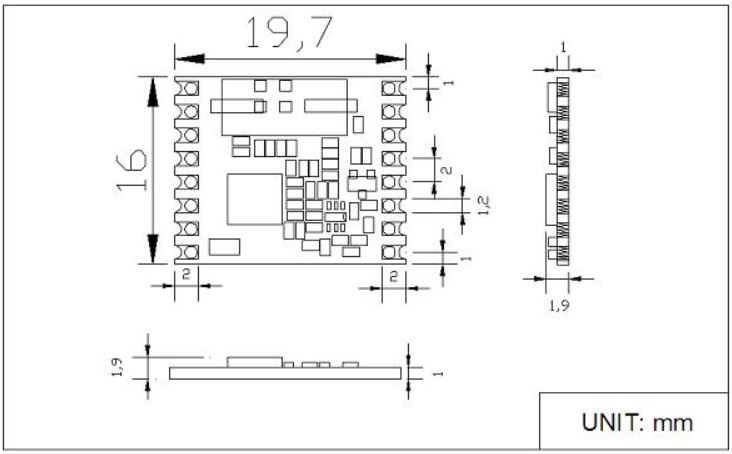
Данное энергопотребление полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям.

1. Скорость передачи данных.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Тип** | **Настраиваемый множитель** | **FSK** | **OOK** |
| Классическая скорость передачи (множитель 1.2kbps) | 0x68, 0x2B | 1.2kbps | 1.2kbps |
|  | 0x34, 0x15 | 2.4kbps | 2.4kbps |
|  | 0x1A, 0x0B | 4.8kbps | 4.8kbps |
|  | 0x0D, 0x05 | 9.6kbps | 9.6kbps |
|  | 0x06, 0x83 | 19.2kbps | 19.2kbps |
|  | 0x03, 0x41 | 38.4kbps |  |
|  | 0x01, 0xA1 | 76.8kbps |  |
|  | 0x00, 0xD0 | 153.6kbps |  |
| Классическая скорость передачи (множитель 0.9kbps) | 0x02, 0x2C | 57.6kbps |  |
|  | 0x01, 0x16 | 115.2kbps |  |

Подобный выбор скоростей полностью удовлетворяет потребностям радиоканала для передачи управляющих команд, а также сбора телеметрических данных. Для данной работы была выбрана скорость 57.6kbps

1. Размеры.



### *Выбор микроконтроллера*

Микроконтроллер ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Micro Controller Unit, MCU*) — [микросхема](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0), предназначенная для управления [электронными](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0) устройствами. Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции [процессора](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80) и [периферийных устройств](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE), содержит [ОЗУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%97%D0%A3) и (или) [ПЗУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE).

При выборе микроконтроллера необходимо учесть и оценить большое количество факторов. За основу последовательности продуманных действий, приводящих к окончательному решению, может быть принят определенный план, приведенный ниже.

***Назначение***

Основная цель выбрать наименее дорогой микроконтроллер (чтобы снизить общую стоимость системы), но в то же время удовлетворяющий спецификации системы, т.е. требованиям по производительности, надежности, условиям применения и т.д.

Микроконтроллеры в целом можно разделить на группы 8, 16 и 32 разрядных. Под термином «разрядность» понимается число бит, одновременно хранимых, обрабатываемых или передаваемых в другое устройство.

Тактовая частота или, более точно, скорость шины определяет, сколько вычислений может быть выполнено за единицу времени. Некоторые микроконтроллеры, в основном ранних разработок имеют узкий диапазон допустимой тактовой частоты, в то время как другие могут работать вплоть до нулевой частоты. Иногда выбирается специфическая тактовая частота, чтобы сгенерировать другую тактовую частоту, требуемую в системе, например, для задания скоростей последовательной передачи. В основном, вычислительная мощность, потребляемая мощность и стоимость системы увеличиваются с повышением тактовой частоты. Цена системы при повышении частоты увеличивается из-за стоимости не только микроконтроллера, но также и всех требующихся дополнительных микросхем, таких как RAM, ROM, PLD и контроллеры шины.

Рассмотрим технологию, с использованием которой изготовлен микропроцессор: N канальную металлокиселполупроводник (NMOS), которая использовалась в микроконтроллерах ранних разработок, сравним с современной CMOS технологией с высоким уровнем интеграции (HCMOS). В отличие от ранних NMOS процессоров, в HCMOS уровни сигналов изменяются в диапазоне от 0 до уровня напряжения питания. В связи с этим обстоятельством предпочтение отдается HCMOS процессорам. Кроме того, HCMOS потребляют меньшую мощность и, следовательно, меньше нагреваются. Геометрические размеры элементов в HCMOS меньше, что позволяет иметь более плотные схемы и, таким образом, работать при более высоких скоростях. Более плотный дизайн также уменьшает стоимость отдельного микроконтроллера, т.к. на кремниевой пластине того же размера можно получить большее количество чипов. По этим причинам сегодня подавляющее большинство микроконтроллеров производятся с использованием HCMOS технологии.

За счет достижения более высокого уровня интеграции и надежности при сохранении низкой цены, все микроконтроллеры оснащены встроенными дополнительными устройствами. Эти устройства под управлением микропроцессорного ядра микроконтроллера выполняют определенные функции. Встроенные устройства обладают повышенной надежностью, поскольку они не требуют никаких внешних электрических цепей. К наиболее известным встроенным устройствам относятся устройства памяти и порты ввода/вывода (I/O), таймеры, системные часы/генератор. Устройства памяти включают оперативную память (RAM), постоянные запоминающие устройства (ROM), перепрограммируемую ROM (EPROM), электрически перепрограммируемую ROM (EEPROM). Таймеры включают и часы реального времени, и таймеры прерываний. Следует принимать во внимание диапазон и разрешение таймера, так же как и другие подфункции, такие как функции сравнение и/или захвата входных линий при измерении длительности сигнала. Средства I/O включают последовательные порты связи, параллельные порты (I/O линии), аналого-цифровые преобразователи (A/D), цифроаналоговые преобразователи (D/A), драйверы жидкокристаллического дисплея (LCD) или драйверы вакуумного флуоресцентного дисплея (VFD).

Другими, реже используемыми, встроенными ресурсами являются внутренняя/внешняя шина, таймер слежения за нормальным функционированием системы (сторожевая схема), система обнаружения отказов тактового генератора, возможность выбора конфигурации памяти и системный интеграционный модуль (SIM). SIM обычно заменяет внешнюю "склеивающую" логику, необходимую для организации взаимодействия микроконтроллера с внешними устройствами через заданные контакты микросхемы.

В большинство микроконтроллеров с внутрисхемными ресурсами включается блок конфигурационных регистров для управления этими ресурсами. Иногда сам этот блок может быть отражен в различные места карты памяти.

***Требования***

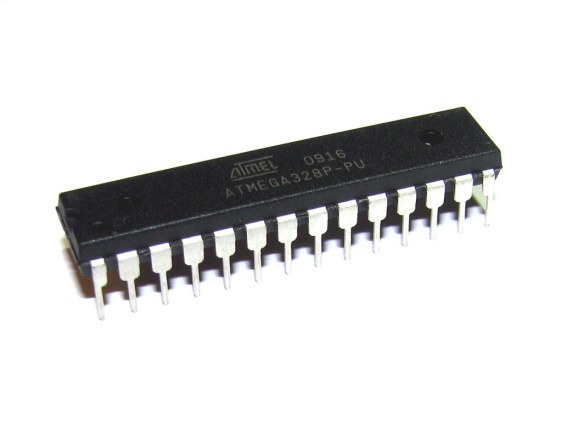
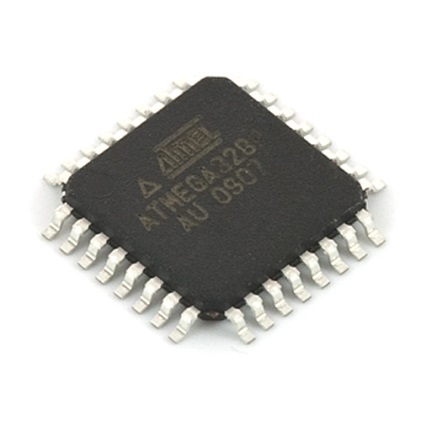
Определим обязательные требования:

* Достаточная производительность для формирования, обработки и анализа информации, а также для взаимодействия с радиомодулями;
* Наличие аппаратного интерфейса SPI для взаимодействия с радиомодулями;
* Наличие аппаратного интерфейса UART для связи с ЭВМ оператора и взаимодействия с модулем GPS/ГЛОНАСС;
* Рабочее напряжение 3.3В;
* Малое энергопотребление (меньше 1мА);
* Рабочий диапазон температур от ;
* Наличие аппаратных прерываний;
* Наличие сторожевого таймера для избежания сбоев в программной части реализации системы;
* Поддержка компилятора высокоуровнего языка для разработки программно-математического обеспечения.

Проведя тщательный анализ рынка, был выбран МК Atmega328P-PU фирмы Atmel, который с запасом удовлетворяет предъявляемым требованиям.

***Описание Atmega328P-PU***

Atmega328P-PU – это 8 разрядный CMOS микроконтроллер с низким энергопотреблением, основанный на архитектуре AVR. Atmega328P-PU достигает производительности 1MIPS на каждый МГц, что позволяет добиваться хороших соотношение производительности к энергопотреблению.



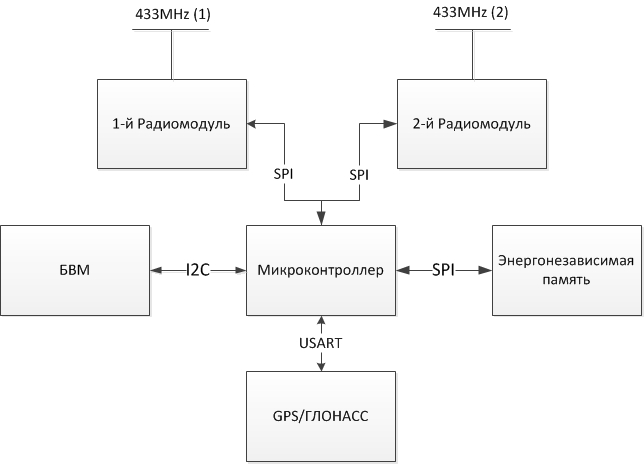
|  |  |
| --- | --- |
| **Характеристика** | **Значение** |
| Архитектура | AVR/8bit |
| Тактовая частота | 0-20МГц |
| Объем flash-памяти | 32кб |
| Объем SRAM-памяти | 2кб |
| Объем EEPROM-памяти | 1кб |
| Напряжение питания | 1.8-5.5В |
| Потребляемый ток в режиме работы (1МГц, 1.8 В) | 0.2мА |
| Потребляемый ток в режиме сна (1МГц, 1.8 В) | 0.75мкА |
| Общее количество портов | 23 |
| Количество PWM выводов | 6 |
| Количество аппаратных USART | 1 |
| Количество аппаратных SPI | 1 |
| Количество аппаратных I2c | 1 |

## Разработка функциональной и принципиальной схем системы взаимодействия и управления группой БПЛА с использованием радиоканала

Проанализировав все сказанное в предыдущих главах, имеем 2 аппаратных комплекса:

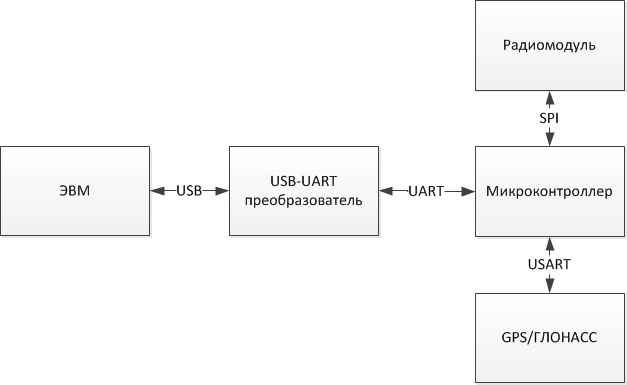
1. На борту БПЛА. Состоит из двух приемопередающих радиомодулей в связке с микроконтроллером, модулем GPS/ГЛОНАСС, запоминающим устройством и необходимой обвязкой;
2. Базовая станция. Состоит из 1 приемопередающего модуля в связке с микроконтроллером, модулем GPS/ГЛОНАСС, микросхемы и порта USB для обеспечения связи с ЭВМ оператора.

### *Функциональная схема модуля на борту БПЛА*



Как говорилось ранее, для реализации разработанного алгоритма взаимодействия на борту каждого БПЛА необходимо иметь 2 приемопередающих устройства (радиомодуля). Также необходим модуль GPS/ГЛОНАСС для синхронизации времени со всеми участниками группы и наземным комплексом. Наличие энергонезависимой памяти позволяет записывать необходимые журналы логов, а также другую полезную информацию. В свою очередь, микроконтроллер по шине I2C подключается к бортовой вычислительной машине на которой реализуются алгоритмы управления БПЛА.

### *Функциональная схема устройства сопряжения с оборудованием пункта управления*



Устройству сопряжения с оборудованием пункта управления также необходим модуль GPS/ГЛОНАСС для синхронизации времени со всеми участниками группы. Это необходимо для избежания коллизий при передаче информации. Микроконтроллер связывается по USB-UART преобразователю с ЭВМ оператора для дальнейшей обработки данных с помощью ПМО, установленного на ЭВМ.

### *Принципиальная схема устройства сопряжения оборудования с ЭВМ оператора*

Для питания и обмена данными с ЭВМ предусмотрен отдельный разъем. Внешнее напряжения платы должно находиться в диапазоне . Все компоненты платы работают при напряжении питания 3.3В.

Для преобразования внешнего входного напряжения был выбран линейный стабилизатор AMS 1117-3.3. Для сглаживания входного и выходного напряжения установлены пары конденсаторов: керамический 0.1мкФ и электролитический 10мкФ.

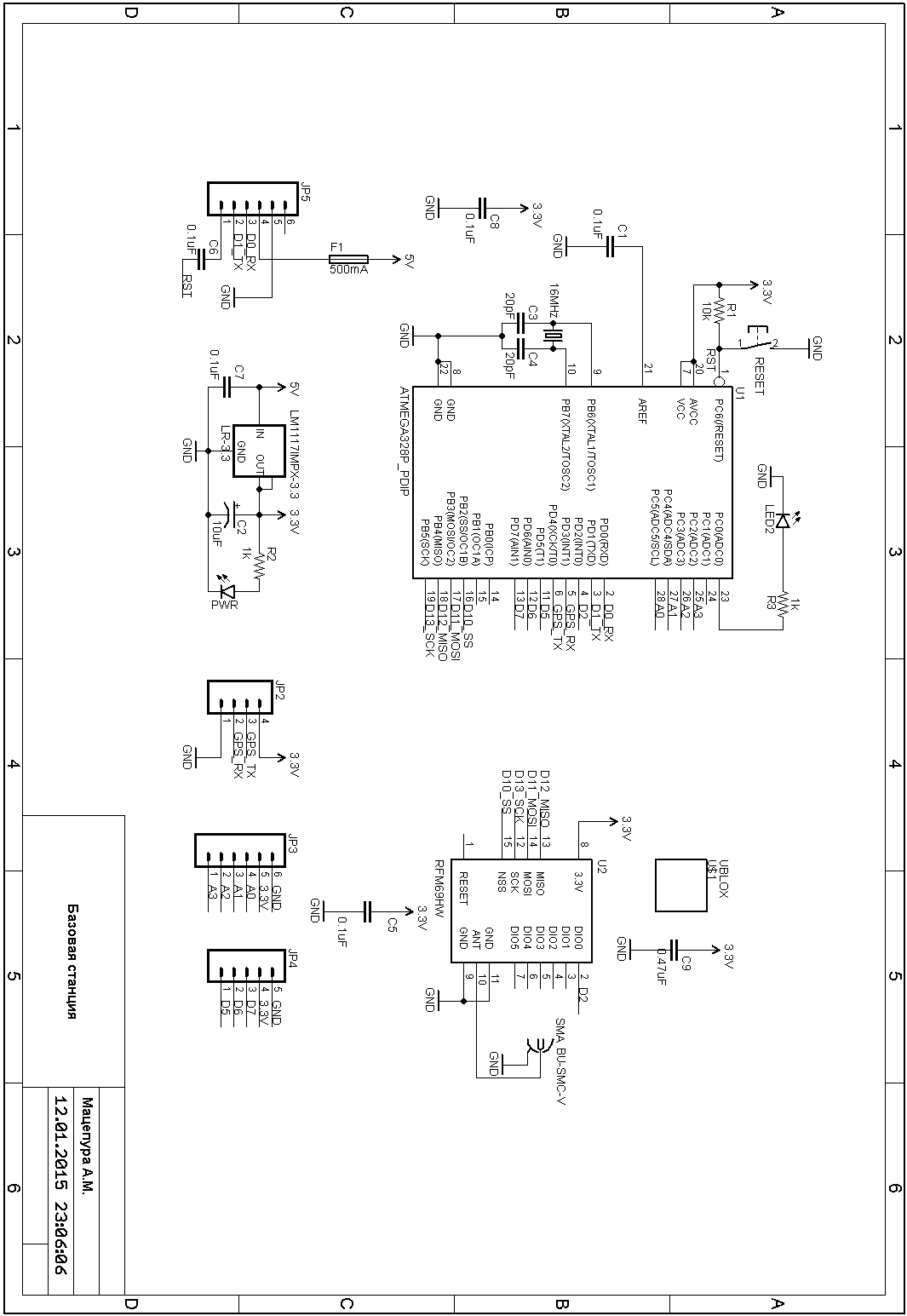
Контроллер работает от внешнего кварцевого резонатора с частотой 16мГц. В качестве нагрузочной емкости установлены 2 керамических конденсатора емкостью 22пФ. К выходу RESET микроконтроллера подключен подтягивающий резистор номиналом 10кОм. Также к этому выходу подключена кнопка сброса и линия DTR внешнего разъема (через керамический конденсатор емкостью 0.1мкФ) для автоматической перезагрузки после обновления прошивки.

Перед всеми цифровыми компонентами на плате (микроконтроллер, радиомодули, модуль GPS/ГЛОНАСС) установлены сглаживающие керамические конденсаторы емкостью 0.1мкФ.

Для внешнего модуля GPS/ГЛОНАСС предусмотрена установочное место и отдельный коннектор для подключения.

Для защиты USB порта компьютера от перегрузки установлен защитный самовосстанавливающийся предохранитель номиналом 500мА.

Для индикации установлены: светодиод питания, светодиод, индицирующий прием/передачу данных по радиоканалу.



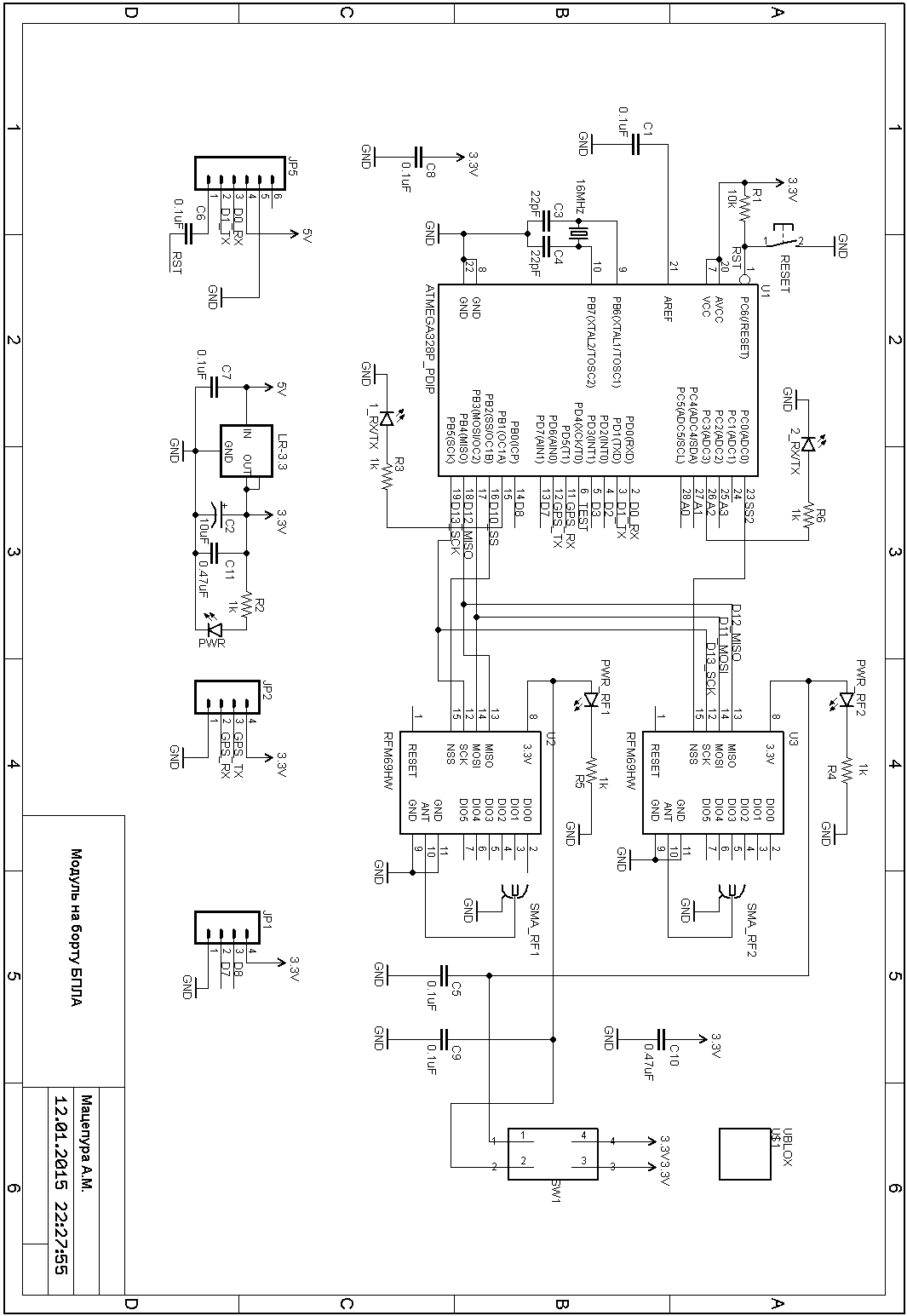
### *Принципиальная схема модуля на борту БПЛА*

При разработке модуля на борту БПЛА был взят за основу уже разработанный модуль устройства сопряжения оборудования с ЭВМ оператора. Основным отличием является наличие второго радиомодуля.

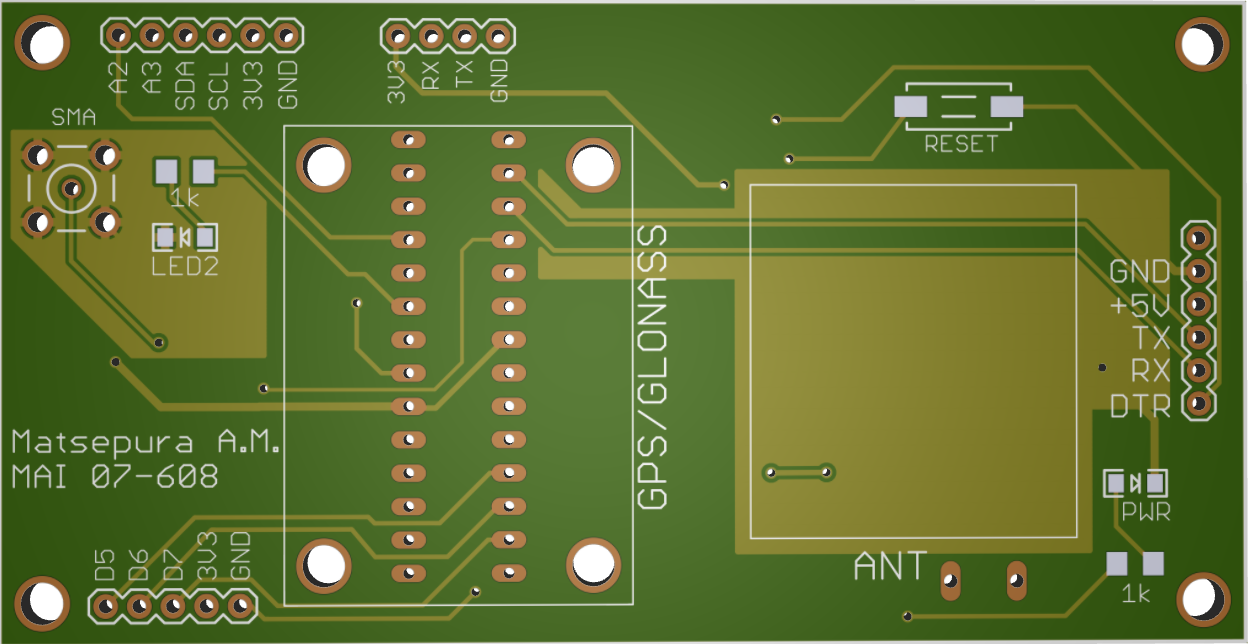
Для включения/выключения питания каждого радиомодуля установлен переключатель. Также к каждому радиомодулю подключен SMA разъем для подключения антенны.

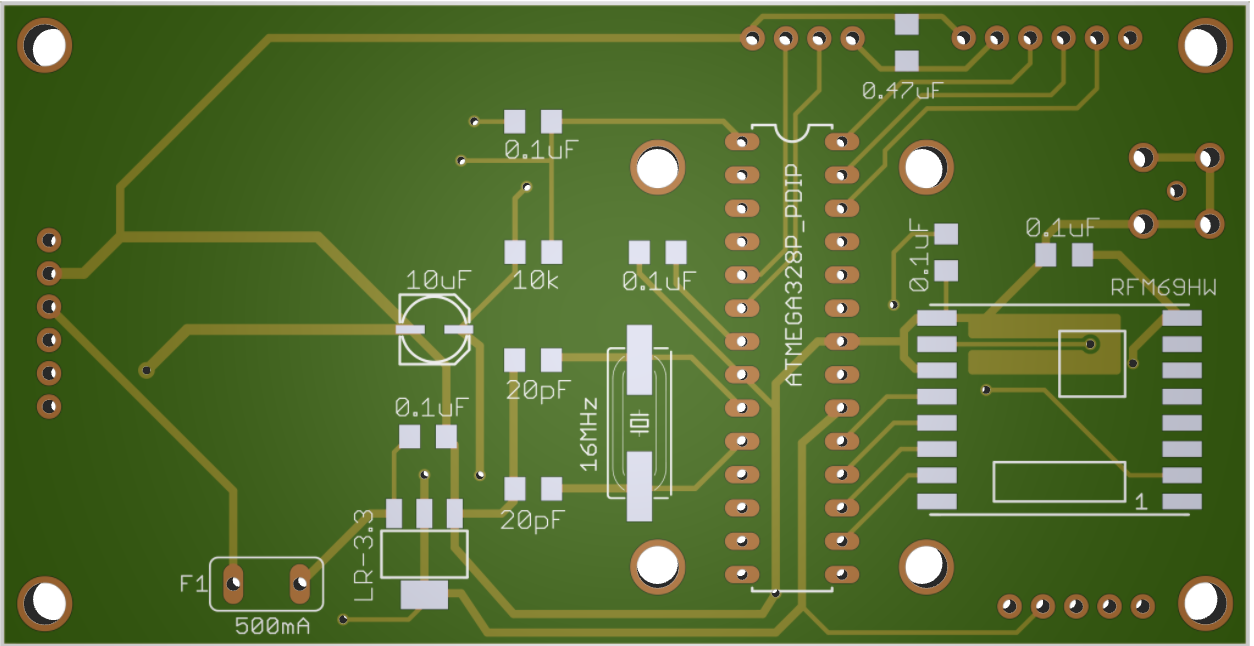
Для индикации установлены: светодиод питания всей платы, светодиоды питания каждого радиомодуля, светодиоды, индицирующие передачу/прием данных по радиоканалам для каждого радиомодуля.

За не надобностью убран предохранитель на 500мА.

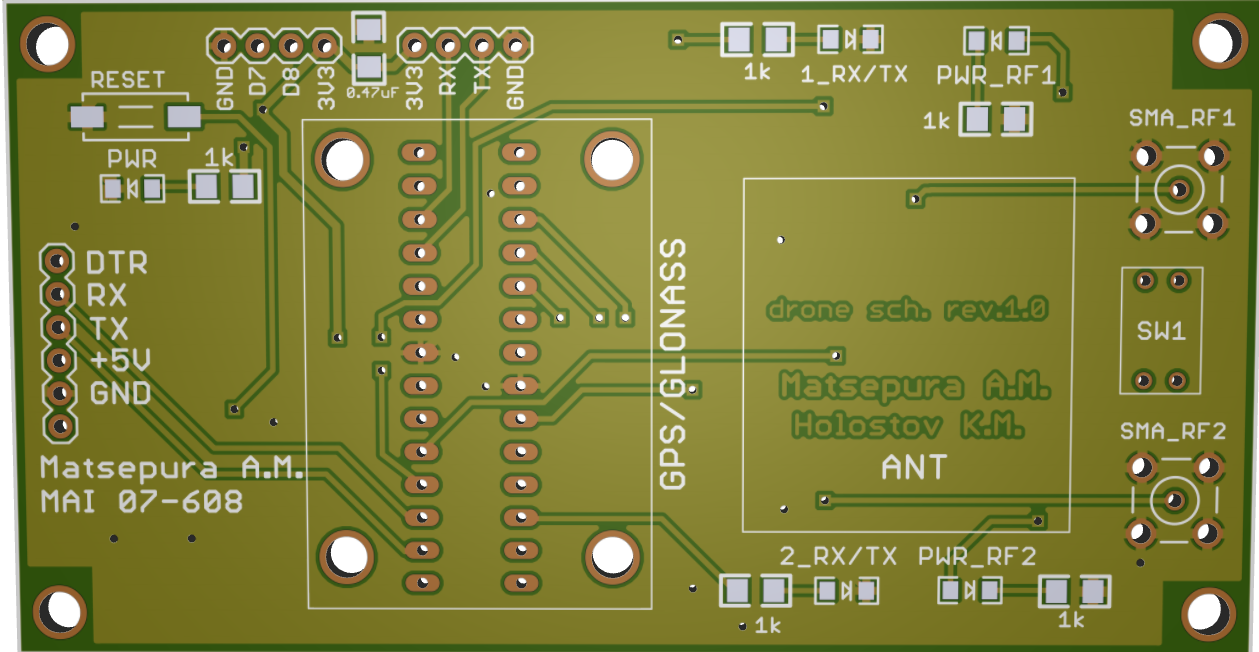


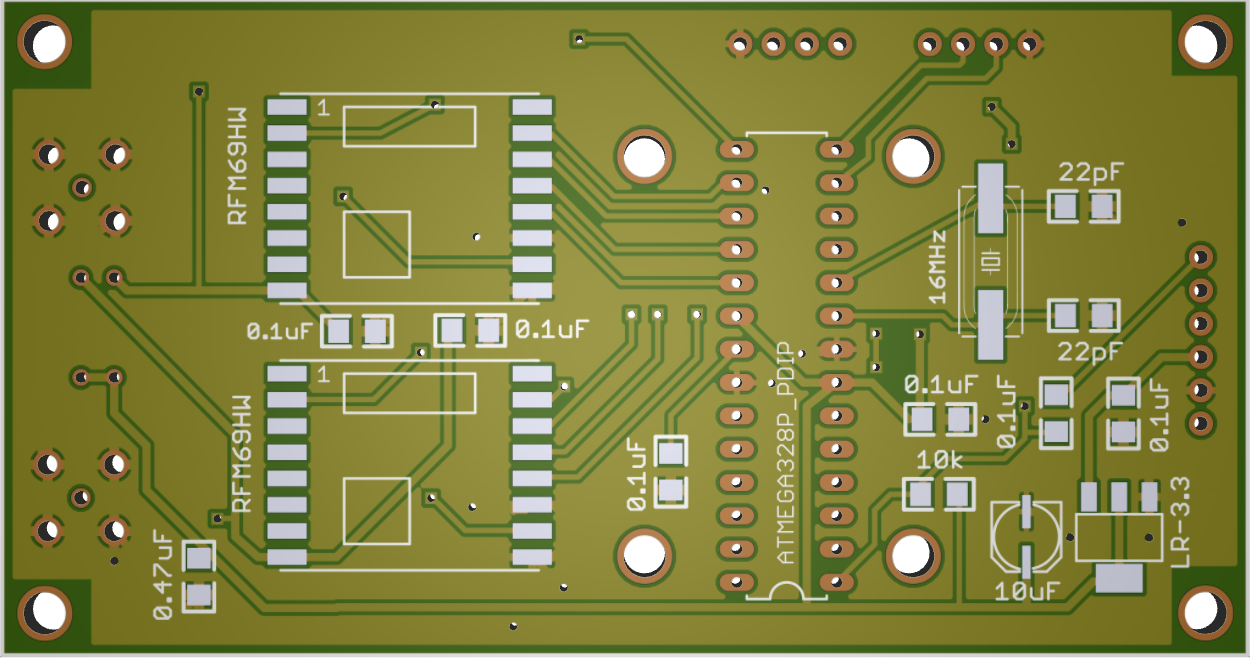
### *Вариант конструктивного исполнения модуля сопряжения оборудования с ЭВМ оператора*





### *Вариант конструктивного исполнения модуля на борту БПЛА*





# Охрана труда и окружающей среды

## *Введение*

Основная часть дипломной работы посвящена разработке возможных вариантов схемотехнического и конструктивного исполнения аппаратных средств, используемых для проверки разработанных ранее алгоритмов, а также созданию программного-математического обеспечения, обеспечивающего функционирование созданных устройств. Вышеописанная разработка производилась на персональной ЭВМ, поэтому важно соблюдать правильную организацию труда и следить за тем, чтобы параметры рабочего помещения и условия труда соответствовали оптимальным, при которых нагрузка на человека распределяется равномерно, и производительность труда максимальна.

Размеры помещения, в котором проводилась работа: площадь 15м2 (3,5 м × 4,3 м) и объем 41 м3 (высота потолка 2,75 м). В помещении находится 1 рабочее место, на котором работает 1 человек.

Технологический процесс заключается в создании результирующих Gerber файлов с использованием программ Proteus, Eagle Cad. Программно-математическое обеспечение разрабатывалось с использованием языка программирования C++, интегрированных сред разработки Atmel Studio, Arduino IDE, QtCreator, набора библиотек Qt Library.

Уровень шума составляет 30 дБА, а мощность компьютера, на котором

производится разработка программы 800 Вт.

## *Анализ условий труда*

Основной рабочий процесс при написании дипломной работы - это работа на персональной ЭВМ. Длительная работа за ПЭВМ может оказать неблагоприятное воздействие на организм человека и привести к опасным заболеваниям.

Среди вредных факторов выделяются три основные группы, способные

повлиять на здоровье человека:

* санитарно-гигиенические факторы;
* эргономические факторы;
* психофизиологические факторы.

Анализ условий труда поможет определить, какие мероприятия необходимо провести для приведений условий труда к нормативным, соответствующих закону о безопасности.

### *Санитарно-гигиенические факторы*

К санитарно-гигиеническим факторам относятся все элементы производственной среды, в которой протекает трудовой процесс: микроклимат, освещение, электроопасность, шум, вибрация и электромагнитные излучения (ЭМИ).

### *Микроклимат*

Микроклимат — климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно или обусловленные природными особенностями.

Основные параметры микроклимата: температура, относительная влажность, скорость воздуха.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». Параметры микроклимата рабочего помещения должны соответствовать вышеуказанным нормам в рамках холодного времени года.

Работа над дипломной работой относится к легким работам (категория Iа), так как выполняется сидя и требует небольшого количества энергии: 75 ккал/час.

Для выяснения информации о том, соответствует ли рабочее помещение указанным нормам приводится следующая таблица 1.

Таблица 1

Оптимальные, допустимые и фактические значения параметров микроклимата

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Показатель** | **Оптимальная вел-на** | **Допустимая вел-на** | **Фактическое зн-ие** |
| Температура воздуха, | 22-24 | 20-25 | 22 |
| Влажность, % | 40-60 | 15-75 | 38 |
| Скорость движения воздуха, м/c | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

Согласно данным таблицы 1 можно сказать, что рабочее помещение полностью удовлетворяет оптимальным условиям микроклимата.

### *Освещение*

Работа с компьютером сопровождается длительными зрительными нагрузками и негативно сказывается на здоровье глаз. Правильно выполненное освещение рабочего места оказывает положительное психофизиологическое воздействие на человека, способствует повышению эффективности и высокой работоспособности. Достижение оптимальных условий работы достигается путем обеспечения естественного освещения в светлое время суток и благоприятного искусственного освещения в темное время суток.

Для того чтобы обеспечить условия, необходимые для зрительного комфорта, в системе освещения должны быть реализованы следующие предварительные требования:

* равномерное освещение;
* оптимальная яркость;
* отсутствие бликов и ослепленности;
* соответствующий контраст;
* правильная цветовая гамма;
* отсутствие стробоскопического эффекта или пульсации света;

В соответствии с СНиП 23-05-95 работа над дипломной работой относится к III разряду зрительных работ (минимальный размер объекта различения-толщина штриха буквы - 0.3 мм, отсюда разряд зрительной работы – работа высокой точности) при большом контрасте и светлом фоне (подразряд зрительной работы «г»).

Рабочее место освещается в светлое время суток через окно (естественное боковое освещение), которое выходит на южную сторону, и солнечный свет не преграждается посторонними объектами. В темное время суток искусственное освещение обеспечивается светильником с пятью лампами накаливания мощностью 40Вт, что не обеспечивает требуемую освещенность для данного типа зрительных работ в 300 лк. Частая переадаптация глаза к различным яркостям и расстояниям является одним из главных негативных факторов при работе с дисплеями. Неблагоприятным фактором световой среды является несоответствие нормативным значениям уровней освещенности рабочих поверхностей стола, экрана, клавиатуры. Нередко на экранах наблюдается зеркальное отражение источников света и окружающих предметов. Все вышеизложенное затрудняет работу и приводит к нарушениям основных функций зрительной системы.

### *Электроопасность*

Согласно правилам устройства электроустановок существует три класса помещений, различающихся по степени риска поражения электрическим током: помещения без повышенной опасности, помещения с повышенной опасностью и помещения особо опасные.

Рабочее помещение, в котором пишется дипломная работа, относится к помещениям без повышенной опасности, так как оно не сырое (влажность воздуха не превышает 75%), температура в нем не превышает (среднее значение ), и регулярно проводится уборка помещения, что не позволяет образовываться токопроводящей пыли.

ПЭВМ защищена от перепадов электроэнергии предохранителем. В рассматриваемом помещении проведена однофазная электрическая сеть с изолированной нейтралью. Рабочее напряжение в сети 220 В. Провода изолированы и расположены таким образом, что вероятность случайного контакта человека с проводами значительно снижена.

### *Шум*

Шум определяют как совокупность апериодических звуков различной интенсивности и частоты. Шумы различаются по различным параметрам, бывают такие, как:

* низко-, средне- и высокочастотные;
* постоянные и непостоянные;
* продолжительные и кратковременные.

Большое значение придается амплитудно-временным, спектральным и вероятностным параметрам непостоянных шумов, которые характерны для современного производства. Интенсивный шум способствует снижению работоспособности, снижает концентрацию и скорость работы, является причиной накопления усталости.

В рабочем помещении источниками шума являются электрические приборы, а именно персональный компьютер и его периферийные устройства. Согласно нормам шума ГОСТ 12.1.003-83 написание дипломной работы относится к следующей категории: "Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность: рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро; расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах". Согласно нижеследующей таблице 2 из ГОСТ 12.1.003-83 «Шум и общие требования безопасности» допустимый уровень звука для такого типа помещений – 50 дБА, а нашем случае уровень звука 30 дБА, следовательно, можно сделать вывод, что уровень шума находится в норме.

Таблица 2

Шум и общие требования безопасности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид трудовой деятельности, рабочие места** | **Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц** | | | | | | | | | **Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБа** |
| 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность:  Рабочие места в помещениях – дирекции, проектно-конструкторских бюро; расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах | 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |

### *Вибрация*

Вибрация - малые механические колебания, возникающие в телах под воздействием физического поля. Сильная вибрация негативно сказывается на здоровье человека, и следует оборудовать свое рабочее место таким образом, чтобы избежать ее влияния. В противном случае при воздействии вибрации ухудшается зрение, координация, работа внутренних органов.

Нормы вибрационной безопасности описаны в следующих документах: ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность» и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Основными нормируемыми параметрами вибрации являются средние квадратичные величины уровней виброскорости и виброускорения в октавных полосах частот. Ниже приведены санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора (таблица 3). Общая вибрация, категория 3, тип «в» (вибрация на рабочих местах работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом).

Таблица 3

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Среднегеометрические частоты полос, Гц** | **Нормативные значения в направлениях** | | | | | | | |
| **виброускорения** | | | | **виброскорости** | | | |
|  | | дБ | |  | | дБ | |
| в 1/3-окт. | в 1/1-окт. | в 1/3-окт. | в 1/1-окт. | в 1/3-окт. | в 1/1-окт. | в 1/3-окт. | в 1/1-окт. |
| 1.6 | 0.0125 |  | 82 |  | 0.13 |  | 88 |  |
| 2.0 | 0.0112 | 0.02 | 81 | 86 | 0.09 | 0.18 | 85 | 91 |
| 2.5 | 0.01 |  | 80 |  | 0.063 |  | 82 |  |
| 3.15 | 0.009 |  | 79 |  | 0.045 |  | 79 |  |
| 4.0 | 0.008 | 0.014 | 78 | 83 | 0.032 | 0.063 | 76 | 82 |
| 5.0 | 0.008 |  | 78 |  | 0.025 |  | 74 |  |
| 6.3 | 0.008 |  | 78 |  | 0.02 |  | 72 |  |
| 8.0 | 0.008 | 0.014 | 78 | 83 | 0.016 | 0.032 | 70 | 75 |
| 10.0 | 0.01 |  | 80 |  | 0.016 |  | 70 |  |
| 12.5 | 0.0125 |  | 82 |  | 0.016 |  | 70 |  |
| 16.0 | 0.016 | 0.028 | 84 | 89 | 0.016 | 0.028 | 70 | 75 |
| 20.0 | 0.02 |  | 86 |  | 0.016 |  | 70 |  |
| 25.0 | 0.025 |  | 88 |  | 0.016 |  | 70 |  |
| 31.5 | 0.032 | 0.056 | 90 | 95 | 0.016 | 0.028 | 70 | 75 |
| 40.0 | 0.04 |  | 92 |  | 0.016 |  | 70 |  |
| 50.0 | 0.05 |  | 94 |  | 0.016 |  | 70 |  |
| 63.0 | 0.063 | 0.112 | 96 | 101 | 0.016 | 0.028 | 70 | 75 |
| 80.0 | 0.08 |  | 98 |  | 0.016 |  | 70 |  |

### *Электромагнитные излучения*

Компьютер, как и все приборы потребляющие электроэнергию, испускает электромагнитное излучение, которое имеет большее воздействие с уменьшением расстояния от источника до объекта. Считается, что электромагнитное излучение способствует расстройству нервной системы, снижению иммунитета и негативно влияет на сердечно-сосудистую систему.

Различают четыре вида облучения:

* профессиональное;
* непрофессиональное;
* облучение в быту;
* облучение в лечебных целях.

Степень воздействия ЭМИ определяется частотой излучения, интенсивностью и продолжительностью воздействия, а также размером и положением облучаемой поверхности тела, режима облучения и т.д.

Допустимые временные уровни электромагнитных полей нормируются в приложении 2 к СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Таблица 4 показывает допустимые и фактические значения временных уровней электромагнитных полей, создаваемых персональным компьютером.

Таблица 4

Фактические и допустимые значения временных уровней электромагнитных полей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Параметры** | | **Допустимые значения** | **Фактические значения** |
| Напряженность электрического тока | Диапазон частот 5Гц – 2кГц | 25 В/м | 9 В/м |
| Диап. частот 2 - 400 кГц | 2.5 В/м | 1.1 В/м |
| Плотность магнитного потока | Диапазон частот 5Гц – 2кГц | 250 нТл | 110 нТл |
| Диап. частот 2 - 400 кГц | 25 нТл | 9 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м | 8 кВ/м |

Данные таблицы показывают, что рабочее помещение удовлетворяет нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, за счет того, что были выполнены следующие предосторожности при работе:

* использовался жидкокристаллический монитор, поскольку его излучение значительно меньше, чем у ЭЛТ монитора;
* компьютер не оставался включенным на длительное время;
* по возможности сеансы работы за компьютером были не очень продолжительными;

## *Расчет искусственного освещения*

Расчет освещенности рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению требуемого светового потока.

Для определения светового потока будем использовать формулу:

где **E** – требуемая горизонтальная освещенность, лк; **S** – площадь помещения, м2; - коэффициент запаса; U – коэффициент использования; n – количество ламп в светильнике; N – количество светильников; = световой поток одной лампы, лм.

Согласно гигиеническим требованиям, минимальная освещенность должна составлять не менее 300 лк. Площадь комнаты составляет 15м2.

Коэффициент запаса зависит от степени загрязнения помещения, частоты технического обслуживания светильника, интенсивности эксплуатации светильников и принимает значение от 1.2 до 2. В рассматриваемом случае Кз = 1.2.

Для определения коэффициента использования предварительно определим индекс помещения:

где S – площадь помещения, м2; a – длина помещения, м; b – ширина помещения, м; h1 – высота на которой находится светильник, м; h2 – высота расчетной поверхности, м.

Согласно таблице с коэффициентам отражения имеем:

* коэффициент отражения потолка – 0.7;
* коэффициент отражения стен – 0.5;
* коэффициент отражения пола – 0.3.

Далее, используя ранее вычисленные и найденные величины, находим коэффициент использования (отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка).

В данном случае коэффициент использования .

Количество ламп в светильнике равно четырем.

Таким образом, получаем:

Но в настоящее время, используются лампы с . Можно сделать вывод о том, что требуются другие лампы с большим световым потоком.

Следует отметить, что для правильного освещения помимо использования правильной системы освещения необходимо правильное размещение ПЭВМ.

## *Выводы*

В данном разделе были рассмотрены вредные факторы, воздействующие на пользователя персональной ЭВМ, требования к организации рабочего места и уровню освещенности.

В ходе работы было выяснено, что по некоторым параметрам имеющееся рабочее место не подходит для длительной работы с ПЭВМ: недостаточная освещенность. Также было выяснено, что следует дополнить светильник и использовать лампы с большим световым потоком.

Однако при соблюдении указанных норм и рекомендаций можно обеспечить безопасные условия труда при работе с ПЭВМ, при которых уровни перечисленных вредных воздействий сводятся к минимуму. Это позволяет сохранить здоровье и высокую работоспособность при регулярной длительной работе с ПЭВМ.

# Организационно-экономическая часть

## *Введение*

В настоящей дипломной работе рассматривается разработка алгоритмов, программно-математического и аппаратного обеспечения для информационного обмена группы беспилотных летательных аппаратов с использованием радиоканала.

В последнее время интерес к использованию БПЛА в составе групп резко вырос. Но до сих пор не разработаны эффективные алгоритмы управления группой. В данной работе рассматривается управление на основе роевого интеллекта. Для реализации такого управления необходимо обеспечить возможность информационного обмена между агентами группы, соотвествующую следующим требованиям:

* Обеспечение максимально возможной автономности работы группы БПЛА;
* Обеспечение высоких показателей энергоэффективности;
* Обеспечение скрытности группы;
* Обеспечение надежной и достоверной связи внутри группы и группы с наземным пунктом управления.

Для создания такого информационного канала связи необходимо:

* Разработать *устойчивые* алгоритмы взаимодействия между группой и наземным комплексом управления, а также внутри группы;
* На основе созданных алгоритмов необходимо разработать функциональную схему;
* С учетом функциональной схемы выбрать элементную базу;
* Разработать принципиальную схему аппаратной части;
* Разработать вариант конструктивного исполнения;
* Производство опытного образца;
* Разработка программно-математического обеспечения, реализующего созданные алгоритмы. Разработка ПМО для тестирования и моделирования созданной системы.

Организационно-экономическая часть дипломной работы представляет собой:

* Постановку задачи технико-экономической оценки;
* Организационный раздел;
* Экономический раздел;
* Расчет затрат на тему.

## *Организационная часть*

### *Расчет продолжительности и трудоемкости*

Для краткости и во избежание повторения совместим планирование работы в одну таблицу состава и последовательности работ. Продолжительность и трудоемкость работ указана в часах.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование** | **Начало** | **Оконч.** | **Продолж.** | **Исполнители** | **Трудоемкость** |
| 1 | Постановка задачи. Определение целей исследования | 01.09.14 | 02.09.14 | 16 | 2 | 32 |
| 2 | Изучение выбранной предметной области на наличие отечественных и зарубежных разработок | 03.09.14 | 05.09.14 | 24 | 1 | 24 |
| 3 | Поиск и анализ литературы | 08.09.14 | 12.09.14 | 40 | 1 | 40 |
| 4 | Составление требований, которым должна соответствовать разрабатываемая система | 15.09.14 | 15.09.14 | 8 | 2 | 16 |
| 5 | Анализ возможных путей решения поставленной задачи | 16.09.14 | 19.09.14 | 32 | 1 | 32 |
| 6 | Разработка устойчивых алгоритмов, соответствующих предъявляемым требованиям | 22.09.14 | 30.09.14 | 56 | 1 | 56 |
| 7 | Согласование полученных результатов. Внесение коррективов. | 01.10.14 | 03.10.14 | 24 | 2 | 48 |
| 8 | Разработка функциональной схемы аппаратной части БС и БПЛА разрабатываемой системы | 06.10.14 | 07.10.14 | 16 | 1 | 16 |
| 9 | Анализ разработанной функциональной схемы и выбор элементной базы | 08.10.14 | 14.10.14 | 40 | 1 | 40 |
| 10 | Разработка принципиальной схемы аппаратной части БС и БПЛА разрабатываемой системы | 15.10.14 | 17.10.14 | 24 | 1 | 24 |
| 11 | Разработка варианта конструктивного исполнения аппаратной части разрабатываемой системы | 20.10.14 | 24.10.14 | 40 | 1 | 40 |
| 12 | Согласование полученных результатов. Внесение коррективов. | 27.10.14 | 28.10.14 | 16 | 2 | 32 |
| 13 | Производство опытного образца | 29.10.14 | 07.11.14 | 64 | 1 | 64 |
| 14 | Разработка ПМО для микроконтроллера аппаратной части БС разрабатываемой системы | 10.11.14 | 14.11.14 | 40 | 1 | 40 |
| 15 | Разработка ПМО для микроконтроллера аппаратной части БПЛА разрабатываемой системы | 17.11.14 | 21.11.14 | 40 | 1 | 40 |
| 16 | Разработка ПМО для ПЭВМ оператора, необходимого для управления и получения телеметрической информации от разрабатываемой системы | 24.11.14 | 28.11.14 | 40 | 1 | 40 |
| 17 | Тестирование разработанного ПМО | 01.12.14 | 05.12.14 | 40 | 2 | 80 |
| 18 | Проведение полунатурного моделирования с целью проверки разработанной системы на соответствие предъявляемым требованиям | 08.12.14 | 12.12.14 | 40 | 2 | 80 |
| 19 | Отладка ПМО и внесение конечных изменений в алгоритм и ПМО | 15.12.14 | 31.12.14 | 104 | 2 | 208 |
| 20 | Анализ результатов и оформление требуемой документации | 12.01.15 | 23.01.15 | 80 | 2 | 160 |
| **Итого (ч):** | | | | 784 |  | 1112 |

*Диаграмма трудоемкости работ в соответствии с приведенной выше таблицей*

### *Календарь работ*

Сентябрь

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Октябрь

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Ноябрь

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** |
| 13 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** |
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Декабрь

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** |
| 17 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** |  |
| 19 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Январь

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** |
| 20 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

### *План-график работ*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **Кол-во исполнителей** | **Порядковые дни** | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** |
| 1 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** |
| 5 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **29** | **30** | **31** | **32** | **33** | **34** | **35** | **36** | **37** | **38** | **39** | **40** | **41** | **42** |
| 9 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **43** | **44** | **45** | **46** | **47** | **48** | **49** | **50** | **51** | **52** | **53** | **54** | **55** | **56** |
| 13 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **57** | **58** | **59** | **60** | **61** | **62** | **63** | **64** | **65** | **66** | **67** | **68** | **69** | **70** |
| 15 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 | **1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **71** | **72** | **73** | **74** | **75** | **76** | **77** | **78** | **79** | **80** | **81** | **82** | **83** | **84** |
| 18 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **85** | **86** | **87** | **88** | **89** | **90** | **91** | **92** | **93** | **94** | **95** | **96** | **97** | **98** |
| 19 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 | **2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## *Экономическая часть*

Сформируем и рассчитаем смету по следующим статьям расходов:

* Материальные затраты;
* Заработная плата;
* Начисления на заработную плату (страховые взносы во внебюджетные фонды, налог по травматизму);
* Расходы на эксплуатацию оборудования;
* Накладные расходы.

### *Материальные затраты*

К материальным затратам относятся затраты на сырьё, материалы, комплектующие, а также на неамортизируемое имущество (стоимостью менее 40 000 рублей и сроком полезного использования менее 12 месяцев).

Перечень материальных затрат приведён в следующей таблице:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Товар** | **Цена ед., руб.** | **Кол-во** | **Общая сумма, руб.** |
| 1 | Ручка | 50 | 1 | 50 |
| 2 | Бумага | 200 | 1 | 200 |
| 3 | Литература | 400 | 3 | 1200 |
| 4 | Flash-носитель | 500 | 1 | 500 |
| 5 | Картридж | 1000 | 1 | 1000 |
| 6 | Радиомодуль | 470 | 8 | 3760 |
| 7 | GPS модуль | 860 | 3 | 2580 |
| 8 | Микроконтроллер | 200 | 5 | 1000 |
| 9 | Материалы для лабораторного производства печатных плат | 3000 | 1 | 3000 |
| 10 | Радиодетали | 3800 | 1 | 3800 |
| 11 | Принтер | 7000 | 1 | 7000 |
| 12 | Паяльная станция | 2000 | 1 | 2000 |
| 13 | Дрель | 3000 | 1 | 3000 |
| 14 | Мультиметр | 1200 | 1 | 1200 |
| 15 | Осциллограф | 30 000 | 1 | 30 000 |
| 16 | Логический анализатор | 5 000 | 1 | 5000 |
| 17 | MS Office | 7 000 | 1 | 7 000 |
| 18 | Qt | 7500 | 1 | 7500 |
| **Итого** | | | | 79 790 |

Таким образом, материальные затраты для выполнения дипломной работы составили 79 790 руб.

### *Расходы на оплату труда*

Для разработки системы обеспечения информационной поддержки группы БПЛА к работе привлекается студент, выполняющий дипломную работу и научный руководитель. На обеспечение заработной платы этих сотрудников приходится большая доля расходов, предназначенных на разработку. Следовательно, требуется рассчитать среднемесячную и среднедневную зарплату работников.

Примем часовую ставку зарплаты для студента-дипломника равной 200 рублей, ставку преподавателя – 300 рублей.

Расчет затрат на заработную плату будем вести с учетом составленного ранее плана-графика. Считаем, что рабочий день равен часам.

здесь:

заработная плата работника за весь период;

часовая ставка;

общее количество отработанных часов.

Студент-дипломник работает на протяжении всего периода, поэтому для него . Руководитель занимается дипломной работой в качестве консультанта, поэтому занят лишь в ключевые моменты, когда требуется согласование и утверждение работы ().

Общие затраты на заработную плату составили рублей.

### *Начисления на заработную плату*

Начислениями на заработную плату являются страховые взносы. На данный момент размеры страховых взносов устанавливаются федеральным законом №212-ФЗ.

В таком случае, ставки страховых взносов будут следующими:

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование** | **Ставка (в процентах)** |
| Пенсионный фонд Российской Федерации | 22.0 |
| Фонд социального страхования Российской Федерации | 2.9 |
| Федеральный фонд обязательного медицинского страхования | 5.1 |
| **Итого** | 30.0 |

Рассчитаем затраты на страховые взносы:

где:

доля отчислений в пенсионный фонд;

доля отчислений в фонд социального страхования;

доля отчислений в федеральный фонд обязательного медицинского страхования.

Затраты на страховые взносы составляют 76 560 рублей.

### *Расходы на эксплуатацию оборудования*

#### Амортизация

Экономический смысл амортизации заключается в переносе стоимости имущества стоимостью выше 40 000 рублей и сроком полезного использования свыше 12 месяцев на стоимость продукции.

В нашем случае амортизируемым имуществом является только ПЭВМ. Срок полезного использования ПЭВМ составляет 36 месяцев. Для определения себестоимости амортизация будет начисляться линейным методом:

где – амортизационные отчисления (руб.)

– первоначальная стоимость основного средства (руб.)

n – срок полезного использования.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Нематериальные активы** | **Стоимость основного средства (руб.)** | **Количество** | **Срок полезного использования (мес.)** | **Амортизационные отчисления в мес. (руб.)** |
| ПЭВМ | 60 000 | 1 | 36 | 1 666 |
| **Итого** | | | | 1 666 |

Таким образом, амортизация составляет 1 666 рублей за месяц. За весь период разработки дипломной работы амортизация составила 8 330 рублей.

#### Прочие расходы

К затратам, не учтённым в предыдущих пунктах, помимо затрат на оборудование и необходимое программное обеспечение в перечень расходов следует включить затраты на электроэнергию и интернет.

Исходя из информации о тарифах на электроэнергию для населения и потребителей, приравненных к населению, стоимость 1 квт\*ч равна 4.68 руб.

*Расчет электроэнергии*

Посчитаем общее количество потребляемой электроэнергии в месяц:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование прибора** | **Среднее время работы в день, ч.** | **Итоговое время работы** | **Мощность прибора, кВт** | **Сумма потребленной энергии, квт\*ч** | **Итоговые затраты, руб.** |
| ПЭВМ | 8 | 784 | 0.600 | 470.4 | 2 201 |
| Освещение | 4 | 392 | 0.240 | 94 | 440 |
| Осциллограф | 1 | 98 | 0.070 | 6.86 | 32 |
| Логический анализатор | 0.5 | 49 | 0.060 | 2.94 | 14 |
| Паяльная станция | 0.5 | 49 | 0.050 | 2.45 | 11 |
| **Итого** | | | |  | 2 698 |

*Расчет затрат на использование интернета*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование** | **Стоимость в месяц** | **Время работы, мес.** | **Стоимость, руб.** |
| 1 | Интернет | 700 | 4.5 | 3 150 |

Таким образом, сумма прочих расходов составила 5 848 руб.

#### Общие расходы на эксплуатацию оборудования

### *Накладные расходы*

Рас­пределение накладных расходов осуществляется пропорционально затратам на опла­ту труда работников, непосредственно занятых созданием научно-технической продукции.

Для научно-исследовательских организаций (институтов), за­нятых созданием научно-технической продукции (информации) и не связанных с материальным производством, предельное значение на­кладных расходов, устанавливаемое для аэрокосмической промышленности, составляет около 28% от затрат на оплату труда.

Накладные расходы составляют рублей.

### *Смета затрат*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Статьи расходов** | **Сумма, руб.** | **Удельный вес в общей сумме затрат, %** |
| 1 | Материальные затраты | 79 790 | 16 |
| 2 | Заработная плата | 255 200 | 51.3 |
| 3 | Начисление на з/п | 76 560 | 15.5 |
| 4 | Расходы на эксплуатацию оборудования | 14 178 | 2.8 |
| 5 | Накладные расходы | 71 456 | 14,4 |
| **ИТОГО** | | 497 184 | 100 |

## *Выводы*

Результатом данного раздела стало составление план-графика работ, а также оценка и расчет затрат на разработку алгоритмов, программно-математического и аппаратного обеспечения для информационного обмена группы БПЛА с использованием радиоканала.

Были получены следующие результаты: оценочная трудоемкость равна 1112 часов, оценочная продолжительность работ равна 784 часов, расчетные затраты на выполнение работы составили 497 184 рублей.

Продолжительность выполнения работ не выходит за рамки периода, отведенного на выполнение дипломной работы. Следовательно, все работы, как и предполагалось, могут быть выполнены в установленный срок.

Эффективность использования БПЛА значительно повышается при организации групповых полетов. Однако при этом возникает ряд сложных проблем, связанных с обеспечением управления полетом группы БПЛА. В последнее время активно развиваются методы адаптивного и интеллектуального управления робототехническими системами, в которых все активнее развивается идея децентрализации, путем распределения между отдельными подсистемами задач обработки сенсорной информации, формирования моделей среды, операций коммуникаций, диагностики и т.д., позволяет существенно расширить сферу применения автономных комплексов и систем.

В данной работе решается задача обеспечения информационного обмена подобного рода систем и позволяет получить следующую экономическую эффективность:

|  |  |
| --- | --- |
| **Военная сфера** | **Гражданская сфера** |
| Контроль нарушения границ | Исследование зон ЧС |
| Проведение контртеррористических операций | Измерение радиационного фона |
| Разведка и мониторинг | Мониторинг трубопроводов, линий электропередач |
| Лазерный подсвет для использования высокоточного оружия | Доставка и сброс грузов |
| Учебно-испытательные авиационные ложные цели | Ретрансляция радиосигналов |
| Ударные БПЛА | Поиск и обнаружение судов, терпящих бедствие |
| Радиоэлектронная борьба | Сельское хозяйство (наблюдение за состоянием земель и определение характеристик почв и т.д.) |
| Доставка военного оборудования и припасов | Океанология |
|  | Метеорология |
|  | Геологоразведка |

# Выводы о проделанной работе

На основании задания по преддипломной практике проделана следующая работа:

1. Поставлена задача разработать алгоритмы, программно-математическое и аппаратное обеспечение для управления группой БПЛА с использованием радиоканала;
2. Рассмотрено несколько путей решения поставленной задачи;
3. Разработан алгоритм группового взаимодействия с использованием радиоканала;
4. Разработана функциональная и принципиальная схемы устройства сопряжения с оборудованием наземного комплекса и модуля на борту БПЛА;
5. Разработан вариант конструктивного исполнения модуля на борту БПЛА;
6. Подобрана элементная база, удовлетворяющая всем требованиям для решения поставленной задачи;
7. Разработано программно-математическое обеспечение устройства сопряжения с наземным комплексом, модуля на борту БПЛА, ПЭВМ оператора.

Достигнутые результаты делают возможным разработку надежной адаптивной системы управления группой БПЛА, а также значительно улучшают показатели энергоэффективности.

# Список использованных источников

1. Лебедев A.A., Бобронников В.Т., Кра­сильщиков М.Н., Малышев В.В. Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов: Учебное пособие для авиационных специ­альностей вузов – М.: Машиностроение, 1985 — 280 с.
2. Под редакцией М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с. – ISBN 978-5-9221-1168-3.
3. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. «Прикладные многоагентные системы группового управления», Искусственный интеллект и принятие решений, №2, 2009г.;
4. «Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами», Моисеев В.С., Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования». – 768с.;
5. Бурый А.С., Фомичев И.Д. «Мультиагентные модели управления группами автономных летательных аппаратов», Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал, №2(12), 2013г.;
6. Амелин К.С., Антал Е.И., Васильев В.И., Граничина Н.О. «Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов», Санкт-Петербургский Государственный Университет, 2009г.;
7. Ефанов В.Н., Мизин С.В., Неретина В.В. «Управление полетом БПЛА в строю на основе координации взаимодействия группы летательных аппаратов», Вестник УГАТУ, с.114-121, №1(62), 2014г.;
8. Зайцев Н.Л. Экономика промышленного предприятия. – М.:Изд-во ИНФРА-М, 2008. – 414с.
9. Вдовин В.А., Дегтярев А.В., Оганов В.А. Экономическая эффективность разработки информационных систем и технологий. Учебное пособие: под ред. Дегтярева А.В., ‒ М.: МАИ ‒ Доброе Слово, 2006. ‒ 60 с.
10. Метечко Л.Б., Малько Методические указания к дипломному проектированию по специализации «Управление экологическое безопасностью» - М.:Изд-во Доброе слово, 2012г.
11. Бобков Н.И., Голованова Т.В. Охрана труда на ВЦ: Методические указания к дипломному проектированию. – М.:Изд-во МАИ, 1995г.
12. Дайнов М.И., Малько Л.И., Яров В.М. Борьба с шумами и вибрацией в авиационной промышленности. Методические указания к дипломному проектированию. – М.:Изд-во МАИ, 1998г.
13. Березин В.М., Дайнов М.И. Защита от вредных производственных факторов при работе с ПЭВМ. Учебное пособие. – М.:Изд-во МАИ, 2003г.
14. Санитарные нормы и правила СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» - М.:Изд-во стандартов, 2003г.