

Министерство науки и высшего образования РФ

РГРТУ им. В.Ф. Уткина

Факультет радиотехники и телекоммуникаций

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

## КУРСОВАЯ РАБОТА

### Часть 1

по теме «Радиосистема управления беспилотными объектами»

по дисциплине «Стандарты и технологии ССПО»

Выполнил: Ст. гр. 919

Нерчу Д.В.

Проверил: Доц. каф. ТОР

Бакке А.В.

Рязань 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Постановка задачи и формулирование технических условий функционирования сети.....	3
1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы. Выделение и краткая характеристика основного и дополнительного информационного трафика, пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной сетью услуг передачи данных.....	3
1.2. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы. Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети: с чего начинается сеанс предоставления услуги, в чем состоит его исполнение и как он завершается. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети (терминалов, выделенных узлов).....	8
1.3. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи: вид трафика, предполагаемая производительность и/или объем сообщений. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика.....	12
1.4. Пояснение функционального состава (структуры) оборудования пользователя и того объекта, который является источником или потребителем информационных сообщений (при необходимости).....	15
Библиографический список.....	18

## ***1. Постановка задачи и формулирование технических условий функционирования сети.***

*1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы. Выделение и краткая характеристика основного и дополнительного информационного трафика, пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной сетью услуг передачи данных.*

*1.1.1. Интерпретация назначения сети в виде произвольного прикладного решения в контексте заданной темы.*

В качестве прикладного решения в контексте данной темы рассматривается применение беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оснащенного модулем видеокамеры, в целях осмотра протяженных и труднодоступных территорий, путем аэросъемки.

В данной системе оператор (пилот) с помощью пульта управления (ПУ) имеет возможность пилотировать БПЛА, принимать с модуля видеокамеры БПЛА видеопоток в режиме реального времени и телеметрические данные летательного аппарата, при этом обеспечивается шифрование всего трафика в системе. Концепция сети представлена на рисунке 1.

Посредством встроенного либо внешнего дисплея осуществляется вывод переданного изображения.

Под телеметрическими данными понимается информация, поступающая с датчиков, используемых на БПЛА. Примером таких датчиков являются: барометрический датчик, GPS, RSSI, компас, ультразвуковой датчик, вольтметр а также датчик скорости. Предполагается, что на летательном аппарате используется до 16 датчиков.

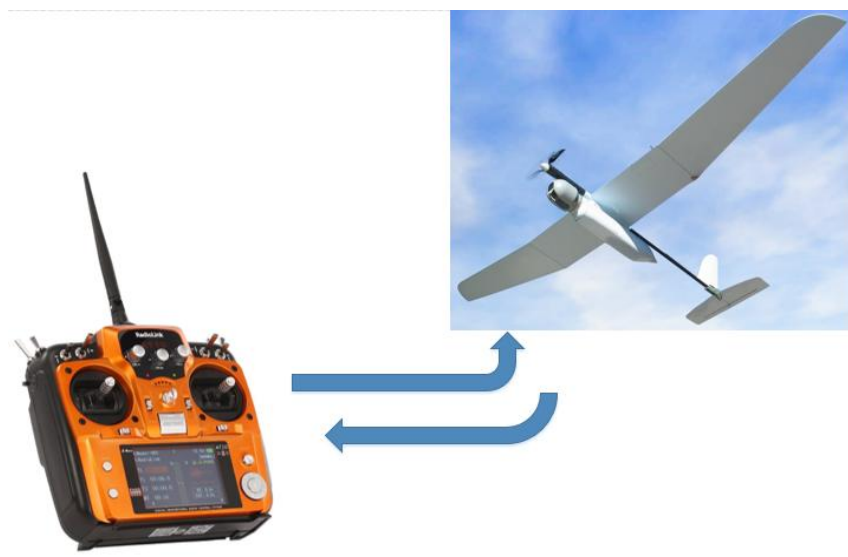


Рис. 1. Концепция сети

### *1.1.2.Выделение основного и дополнительного видов информационного трафика.*

Выделим основной и дополнительный виды информационного трафика. Основным видом информационного трафика, передаваемого ПУ пользователя, в данной радиосистеме является трафик команд управления движением. Дополнительным видом – трафик служебных сообщений, необходимых для организации радиосоединения, корректировки качества видеопотока и поддержания работоспособности радиосистемы в целом. Служебные сообщения обеспечивают выполнение, например, задач аутентификации, авторизации в радиосети.

Основным видом информационного трафика, получаемого приложением пользователя, является трафик видеоданных, а дополнительным – трафик телеметрии и служебных сообщений.

*1.1.3.Пояснение отношений "пользователь-сеть" в рамках схематичного описания реализуемых телекоммуникационной (ТК) сетью услуг передачи данных.*

Рассмотрим отношение «пользователь-сеть» с помощью анализа вида нарастающей детализации. Первый уровень детализации (рис. 2) показывает логическое взаимодействие оператора и БПЛА: оператор отправляет команды управления беспилотным аппаратом, БПЛА отправляет видеопоток и данные телеметрии, а также служебные уведомления. Между оператором и БПЛА присутствует протокол обмена сетевыми сообщениями.



Рисунок 2 – первый уровень детализации

На втором уровне детализации (рис. 3) представлено оборудование и приложение оператора, необходимые для осуществления связи пилота и БПЛА. Оператор взаимодействует с пультом управления, БПЛА взаимодействует с контроллером управления. Между оборудованием устанавливается протокол обмена данными.

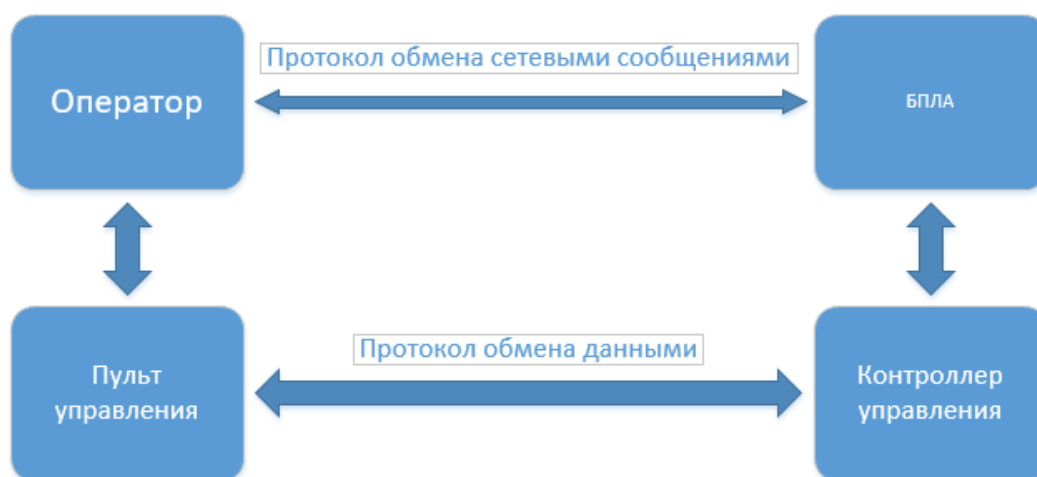


Рисунок 3 – второй уровень детализации

Третий уровень детализации (рис. 4) рассматривает службы, посредством которых взаимодействует оборудование. Служебный обмен поддерживается служебными сообщениями. Взаимодействие служб передачи и приема команд в прямом направлении осуществляет передачу команд управления на БПЛА от оператора, в обратном направлении – отправку телеметрии и служебных сообщений.

Службы трансляции и приема видеотрафика обеспечивают предоставление оператору услуги получения видеопотока от БПЛА с выбранным качеством. Службы сбора и обработки телеметрии осуществляют передачу оператору телеметрических сообщений. Между службами устанавливаются протоколы взаимодействия служб. Взаимодействие с службами осуществляется посредством операционных систем. За связь оператора и операционной системы отвечает удобный для использования человеком интерфейс. В свою очередь БПЛА связан с операционной системой посредством двух интерфейсов: интерфейса полетного контроллера (ПК) и интерфейса видеомодуля (ИВ).



Рисунок 4 – третий уровень детализации

На четвёртом уровне детализации (рис. 5) учитывается физическая передача данных между сетевыми объектами. Взаимодействие организуется посредством радиомодема пульта управления и БПЛА, с помощью которых реализуется радиоканал.

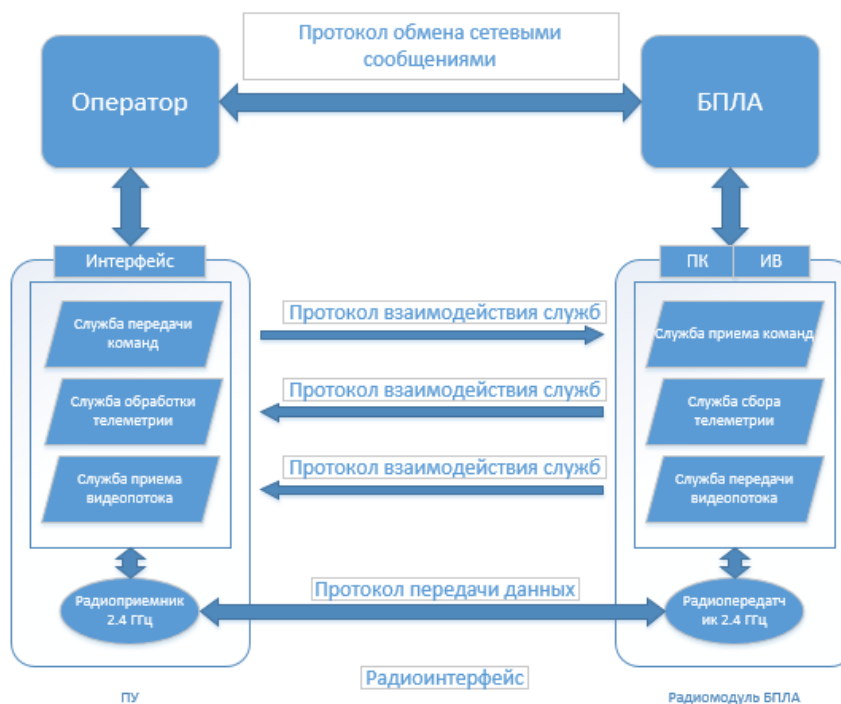


Рисунок 5 – четвертый уровень детализации

**1.2. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы. Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети.**

*1.2.1. Обоснование архитектуры системы, выделение роли радиосети в составе системы.*

В предлагаемой радиосистеме используется радиосоединение, образованное двумя сетевыми объектами: пультом управления оператора и радиомодулем БПЛА, следовательно, используется топология типа «точка-точка» (рис. 6). Радиосеть в составе радиосистемы предназначена для обеспечения взаимодействия радиотерминалов пульта управления и БПЛА.

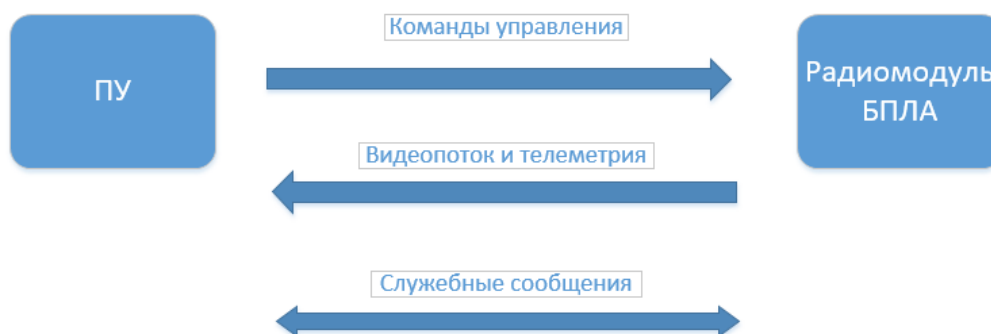


Рисунок 6 – топология сети



*1.2.2.Разработка многозвеневой модели сети, описание ключевых звеньев доставки сообщений.*

Рассмотрим разработанную многозвеневую модель сети (рис. 7). В данной модели имеется два ключевых звена доставки сообщений: пульт управления и контроллер управления БПЛА.

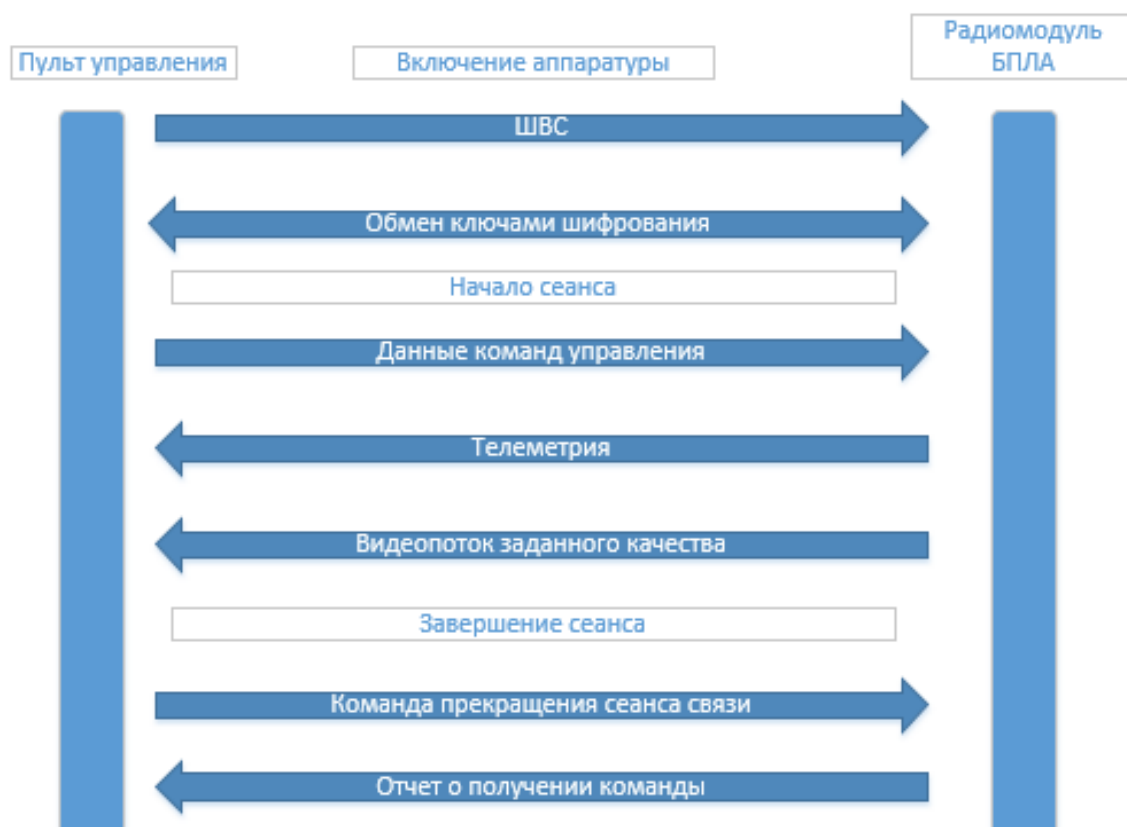


Рисунок 7 – двухзвеневая модель сети

### *1.2.3. Пояснение основных этапов сценария выполнения ТК задачи согласно разработанной модели сети.*

Сеанс предоставления ТК услуги начинается с запроса услуги оператором (пользователем) посредством включения пульта управления (на данном этапе подразумевается, что питание на БПЛА активировано и БПЛА находится в режиме ожидания). Пульт управления посылает в эфир широковещательное сообщение (ШВС). Радиомодуль БПЛА детектирует это сообщение, идентифицирует пульт и инициирует обмен ключами шифрования. В результате устанавливается соединение между пультом и радиомодулем летательного аппарата, сеанс предоставления услуги считается начатым.

Исполнение услуги состоит в обработке и передаче пультом команд оператора а также передаче телеметрии в направлении БПЛА - ПУ. При этом оператор имеет возможность запрашивать трансляцию данных видеопотока с выбранным качеством.

Сеанс предоставления услуги завершается путем выключения пульта управления, при этом пультом отправляются команды о прекращении трансляций видеопотока и телеметрии, и команда завершения сеанса управления. В ответ БПЛА отправляет подтверждение и в зависимости от своего текущего положения (на земле или в полете) принимает решение: перейти в режим ожидания сразу или вернуться на место взлёта и после приземления вернуться в режим ожидания.

#### *1.2.4. Формулирование и пояснений стратегии поведения объектов радиосети.*

Стратегия поведения контроллера пульта управления состоит из трех наиболее общих состояний. Первое состояние – это режим, связанный с образованием радиосети и последующим обнаружением БПЛА. Во втором состоянии пульт управления готов к работе, есть стабильный канал связи, начинается передача команд управления, прием телеметрии и видеотрафика. Вышесказанное иллюстрирует схема рисунка 8.



Рисунок 8 – стратегия поведения контроллера пульта управления

Радиомодуль БПЛА имеют схожую стратегию поведения, которую можно описать тремя основными состояниями. В первом (исходном) состоянии контроллер способен обнаруживать ШВС от пульта управления. При успешном обнаружении ШВС радиомодуль производит с ПУ обмен ключами шифрования. В третьем (активном) состоянии происходит реализация главной задачи – прием команд и передача видеотрафика и служебных данных. Для наглядности стратегия поведения контроллера изображена на схеме рисунка 9.



Рисунок 9 – стратегия поведения контроллера БПЛА

***1.3. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи. Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика.***

***1.3.1. Характеристика основного и дополнительного видов информационного трафика в прямом и обратном направлениях передачи.***

Основной информационный трафик в прямом направлении передачи представлен данными команд управления. Предлагается, что в проектируемой системе для комфортного управления БПЛА используется до 16 каналов управления, такие как, управление креном, тангажом и рысканьем, а также выбор качества передачи видео. Каждая команда передается 25 раз в секунду, чего достаточно для комфортного управления БПЛА без ощутимых задержек. Таким образом, для данного типа трафика необходима передача до 25 пакетов в секунду. При выборе 16 бит на канал получаем скорость равную 6400 бит/с для не кодированного потока данных.

В обратном направлении передачи основной информационный трафик представлен потоком видеоданных с БПЛА. Предполагается, что на БПЛА установлен видеомодуль с максимальным разрешением съемки  $1920 \times 1080$  пикселей, частотой записи 25 кадров в секунду и глубиной цвета 24 бита, а также с используется стандарт сжатия H.264 с коэффициентом сжатия 0.154. При таких исходных данных необходима пропускная способность порядка 5000 Кбит/с.

Так как передача видео в максимальном качестве может быть ограничена качеством соединения, пользователю предлагается переход другие, «облегченные» режим трансляции. При этом понижается разрешение изображения и глубина цвета, в крайнем случае уменьшается частота кадров, а также изменяется скорость кодирования на более медленную что

приводит к повышению помехоустойчивости. Таким образом, вводится набор профилей работы обратного канала трафика для видеотрафика.

Дополнительный вид трафика в обратном направлении представлен в виде телеметрических данных. Полетный контроллер опрашивает датчики и передает информацию на радиомодуль БПЛА. Предполагается, что на летательном аппарате используется не более 16 датчиков, а опрос и передача данных с них осуществляется 25 раз в секунду. Таким образом, для передачи данных телеметрии необходима передача 25 пакетов в секунду. Под служебными сообщениями понимается отправка данных необходимых для работоспособности радиосистемы в соответствии с заданными требованиями. Такими сообщениями являются, например, широковещательное сообщение и данные с ключами шифрования. Служебные сообщения имеют место быть при организации соединения, во время работы системы вся служебная информация передается вместе с командами управления и телеметрией.

Характеристика информационного трафика схематично иллюстрируется рисунком 10.



Рисунок 10 – характеристика информационного трафика

### *1.3.2.Пояснение требований к качеству доставки информационных сообщений/трафика.*

Стоит отметить, что качество доставки информационных сообщений и трафика должно удовлетворять требованию вероятности ошибки на бит  $P_b = 10^{-7}$ .

1. Для команд управления требуется безошибочная передача в первую очередь, так как от этого косвенно зависит целостность летательного аппарата.
2. Для видеотрафика допускается прием с ошибками, в пределах заданной вероятности ошибки на бит.
3. Для телеметрических данных так же допускается прием с ошибками, в пределах заданной вероятности ошибки на бит.
4. Для служебных уведомлений требуется гарантированная доставка

#### **1.4. Пояснение функционального состава оборудования пользователя и того объекта, который является источником или потребителем информационных сообщений.**

В составе пульта управления присутствуют следующие функциональные модули.

1. Модуль обработки и управления – является основным элементом и предназначен для управления взаимодействием всех функциональных модулей, он принимает и обрабатывает служебные сообщения и данные видеотрафика. В прямом направлении отправляет на радиомодем трафик команд управления.
2. Трансивер 2.4 ГГц. Он обеспечивает взаимодействие сетевых объектов через физическую среду, посредством образованной им радиосетей.
3. Дисплей – служит для визуального представления видеоданных, а также для отображения сообщений телеметрии, полученных от модуля обработки и управления.
4. Органы управления – осуществляет обработку команд управления подаваемых оператором и их передачу на модуль обработки и управления. Функциональный состав пульта управления схематично представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – функциональный состав пульта управления

Контролер управления БПЛА состоит из следующих модулей.

1. Модуль обработки и управления – является основным элементом и предназначен для управления взаимодействием всех функциональных модулей, он обрабатывает и передает служебные сообщения и данные видеотрафика. В прямом направлении принимает на радиомодеме трафик команд управления.
2. Трансивер 2.4 ГГц. Он обеспечивает взаимодействие сетевых объектов через физическую среду, посредством образованной им радиосетей.

Отдельными устройствами, напрямую взаимодействующими с радиомодулем являются:

1. Видеомодуль – используется для получения трафика видеоданных и передачи на модуль обработки и управления для последующей обработки.
2. Полетный контроллер – главный «мозг» любого беспилотника. Получает данные от радиомодуля БПЛА и датчиков, на основе полученных значений принимает решения по управлению кинематикой. От радиомодуля получает команды управления а на выход выдает данные телеметрии.



Функциональный состав контроллера управления БПЛА иллюстрируется рисунком 12.



Рисунок 12 – функциональный состав радиомодуля БПЛА

## **Список литературы и используемых источников**

1. Лекции по курсу «Системы и сети связи с подвижными объектами» / А.В. Бакке – Рязань, 2020.
2. Радиосистема управления беспилотными объектами. Часть 1 / П.А. Дудин – Рязань, 2020
3. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015 – 312 с.
4. В поисках потерянного битрейта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://habr.com/ru/companies/ru\\_mts/articles/683064/](https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/683064/) ,свободный.