

Применение программно-определяемого радио (SDR) в системах связи с беспилотными летательными аппаратами

Д. Н. Роенков, А. А. Демченко

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

roenkov_dmitry@mail.ru, aly_demchenko_02@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы построения системы связи с беспилотным летательным аппаратом. Показана зависимость аппаратной части системы связи от габаритов БПЛА, дана ориентировочная оценка дальности действия связи БПЛА с наземным комплексом управления. Обоснована возможность и целесообразность применения программно-определяемого радио SDR в качестве бортовой системы БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система связи БПЛА, программно-определяемое радио, БПЛА

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) в современном мире идёт быстрыми темпами как в Российской Федерации, так и за рубежом [1–3]. БПЛА применяются для решения как гражданских, так и военных задач, которые с каждым днём усложняются, и вопрос о требованиях к каналам связи между летательными аппаратами и наземными комплексами управления остаётся открытым.

При выполнении относительно несложных заданий можно обойтись без связи между летательным аппаратом и наземными комплексами. Однако полное отсутствие радиоканала невозможно, поскольку высокая стоимость данной системы и выполнение более сложных задач требуют наличия периодической связи с БПЛА.

II. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ С БПЛА РАЗНЫХ РАЗМЕРОВ

Большое влияние на систему связи оказывают габариты беспилотного летательного аппарата – при небольших габаритах необходимо уменьшать и габариты приёмопередатчика и антенно-фидерного устройства. Для более чёткого понимания ознакомимся с упрощённой классификацией оборудования БПЛА, подразделяемого на две группы. К оборудованию первой группы относятся: навигационные устройства, система автоматического спасения, автопилот и сервоприводы, а также все радиолинии отдельных блоков. К ним предъявляют высокие требования по отказоустойчивости. Отказ даже одного вида оборудования введёт к завершению выполнения поставленной задачи, и летательный аппарат возвращается к месту дислокации. При отсутствии возможности возврата срабатывает блок системы автоматического спасения. Оборудование второй группы включает блок полезной нагрузки и две радиолинии –

радиолинии передачи данных полезной нагрузки и передачи дифференциальных поправок. Между собой первая и вторая группа оборудования взаимодействуют благодаря управляющим интерфейсам [4].



Рис. 1. Упрощенная классификация оборудования БПЛА

У всех летательных аппаратов весом до 5 кг происходит объединение каналов передачи командно-телеметрических данных и данных полезной нагрузки. Дополнительным радиоканалом является лишь радиолиния блока системы автоматического спасения (САС). Для соблюдения требований по пропускной способности при передаче данных полезной нагрузки и телеметрических данных необходимо расширять полосу частот приемопередающего устройства и применять спектрально-эффективные методы кодирования. Всё это приводит к повышению требований по соотношению сигнал/шум на входе приемника, снижению дальности радиосвязи и повышению вероятности битовой ошибки. Из этого следует, что использование общего канала достаточно серьёзно влияет на характеристики устройств первой группы, и приводит к их ухудшению. В БПЛА весом более 5 килограммов используют разделённые каналы.

Большое внимание уделяют вопросам обеспечения электромагнитной совместимости приемопередающего устройства и размещения антенно-фидерного оборудования. При выборе рабочего частотного диапазона следует учитывать требования к массе и габаритам приемопередающего устройства,

необходимость получения лицензии на использование частот рабочего диапазона, и многие другие факторы [5].

С учетом ограничений по габаритам, для малых БПЛА рациональным является выбор сверхвысоких частот, на которых возможно использовать компактное прямо-передающее устройство и небольшую антенну, размещаемую на крыле.

Необходимость плотного расположения аппаратуры внутри БПЛА, ведущего к возникновению проблем электромагнитной совместимости, а также большое влияние окружающих объектов на характеристики антенны, делает практически невозможным применение приёмопередатчиков диапазона УКВ большой мощности с укороченной антенной. Наиболее подходящим диапазоном является 2,4 ГГц.

К летательным аппаратам средних и больших габаритов предъявляются более жёсткие требования по дальности работы и помехозащищённости. Становится необходимым комплексирование нескольких каналов разных частотных диапазонов. При работе системы связи оцениваются вероятности битовой ошибки по каждому каналу, и далее принимается решение о передаче командно-телеметрического потока данных между каналами. Такое решение позволяет повысить надёжность канала, однако приводит к избыточности радиочастотного спектра. Повышения эффективности передачи по комплексированным каналам удастся добиться благодаря передаче по командно-телеметрическим каналам связи части данных полезной нагрузки.

Максимально возможное расстояние прямой радиосвязи между беспилотными летательными аппаратами, относящимися к гражданским, и наземными комплексами управления (далее – НКУ) составляет не более 100 километров. Для командно-телеметрической связи на дальних расстояниях есть возможность использовать спутниковую связь. Но данные ограничиваются минимально необходимой информацией о состоянии БПЛА и интервал, в течение которого происходит передача соответствующей информации, составляет от 30 до 300 секунд.

Для обеспечения радиосвязи на большие расстояния необходимо увеличивать расстояние до радиогоризонта как для антенн НКУ, так и для летательного аппарата. Ориентировочно максимально возможную дальность радиосвязи можно определить, как сумму дальностей радиогоризонта для антенны НКУ и БПЛА, но для ее более точного определения необходимо учитывать различные виды атмосферной рефракции. Области воздушного пространства можно разделить на несколько зон (рис. 2): зона освещенности, зона полутени и зона тени. Зона полутени является переходной между зоной освещенности, в которой возможно принимать чёткий сигнал, и зоной тени, прием в которой возможен только благодаря дифракции сигнала.



Рис. 2. Зона освещенности, зона полутени и зона тени

Антенна наземного комплекса является мобильной и обычно устанавливается на высоте не выше 10 метров. Но как видно из графика (рис. 3), зависимость дальности связи от высоты антенны слабая. В зависимости от необходимой дальности связи антенны НКУ могут иметь как большое значение коэффициента направленного действия, так и быть слабонаправленными [6].

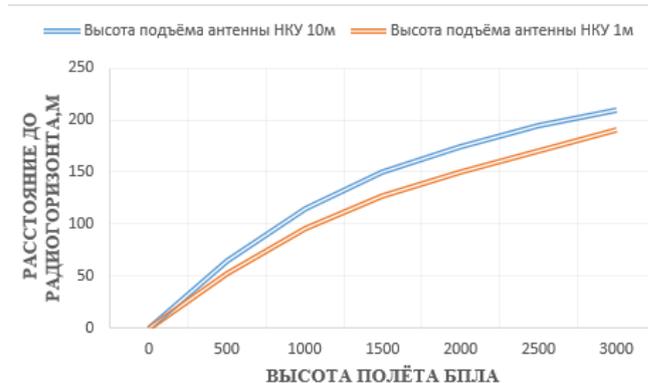


Рис. 3. График зависимости расстояния до радиогоризонта от высоты полета БПЛА

Ещё одной из важнейших задач является выбор модуляции в приёмопередатчике.

При сравнении разных видов модуляции используют критерии энергетической и спектральной эффективности. Энергетическая заключается в передачи одного бита информации с необходимой достоверностью. Спектральная же эффективность – полоса частот, необходимая для передачи информации. Основным требованием к разработке систем связи БПЛА является передача данных с заданной скоростью, а также меньшая вероятность ошибки при большом расстоянии от наземного комплекса. Логичным решением является использование расширенного частотного диапазона и наиболее эффективной модуляции.

Отметим, что с увеличением позиционности модуляции вероятность битовой ошибки увеличивается. Поэтому для обеспечения постоянной вероятности необходимо увеличивать отношение сигнал/шум на входе приемника. С точки зрения большей дальности радиосвязи эффективной является квадратурная фазовая манипуляция. Если же полоса частот ограничена, то предпочтительнее квадратурная амплитудная манипуляция. Уровни манипуляции определяются отношением сигнал/шум на входе приемника, которое определяется по известным зависимостям через оценку вероятности битовой ошибки. При связи на малые расстояния целесообразно использовать

многопозиционную модуляцию. Таким образом, отличие требований к системе радиосвязи для решения разных задач приводит к возникновению сложностей в проектировании элементов приёмопередатчика.

III. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ SDR ДЛЯ СВЯЗИ С БПЛА

Решение данной проблемы возможно, если обеспечить переключения между различными видами модуляции. Данное решение может быть реализовано за счет применения программно-определяемого радио (SDR) [7]. Оно позволит изменять модуляцию при изменении пройденного БПЛА расстояния. Кроме того, возможно изменять выходную мощность передатчика и скорость передачи информации при сохранении минимума ошибок. Примером может служить программно-определяемый передатчик SDR-M, состоящий из одной платы. Благодаря его малым размерам он может применяться в БПЛА практически любых габаритов. SDR-M обеспечивает доступ к широкому спектру IP-Mesh сигналов и однонаправленных сигналов COFDM. IP-Mesh приёмопередатчики обеспечивают высокую скорость передачи данных в каналах с летательными аппаратами в сложных радиочастотных и эксплуатационных условиях. Достоинством этого решения является технология Mesh, которая является достаточно гибкой и позволяет оперативно изменять характеристики системы в зависимости от внешних условий прямо в процессе ее эксплуатации. Архитектура позволяет БПЛА

обмениваться необходимой видеоинформацией и иными данными как между использующими их подразделениями, так и с НКУ. Имеется возможность расширения зоны действия связи за счет использования ретрансляторов или других устройств. Всё это существенно упрощает реализацию аппаратного обеспечения БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ Р 57258-2016 Системы беспилотные авиационные. Термины и определения.
- [2] ГОСТ Р 56122-2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования.
- [3] ГОСТ Р 59517-2021 Беспилотные авиационные системы. Классификация и категоризация.
- [4] Боев Н.М. «Анализ радиолиний связи с беспилотными летательными аппаратами» // Вестник сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, 2012, №2, с. 86-91.
- [5] Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138)
- [6] Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруза И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния // Известия ЮФУ. Технические науки, 2014, № 3, с. 147-158
- [7] Программно-определяемый передатчик SDR-M [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://radiocom-review.blogspot.com/2023/03/dtc-sdr-m.html>