

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК \_\_\_\_\_

Наукович  
Денис Юрьевич

Антенно-фидерный трак наземной станции управления беспилотного  
авиакомплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистратехники и технологи  
по специальности 1-39 81 03 – Информационные радиотехнологии

---

*(подпись магистранта)*

Научный руководитель  
Кирильчук Валерий Борисович  
к.т.н., доцент

---

*(подпись научного руководителя)*

Минск 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются не просто новым классом летательных аппаратов, а качественно новым, более высоким уровнем не только военной, но и гражданской авиации. Работы по созданию БПЛА проводятся в связи с постоянным повышением требований к их летным характеристикам. В сложившихся условиях очень важным является всестороннее теоретическое исследование БПЛА с использованием системного подхода, а также применение новых моделей и алгоритмов для решения проблемных вопросов, неизбежно возникающих в процесс его проектирования.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА или БЛА) — в общем случае это летательный аппарат без экипажа на борту, использующий аэродинамический принцип создания подъемной силы с помощью фиксированного или вращающегося крыла (БПЛА самолетного и вертолетного типа), оснащенный двигателем и имеющий полезную нагрузку и продолжительность полета, достаточные для выполнения специальных задач.

Известно большое разнообразие различных БПЛА, отличающихся по назначению, габаритам, массе, скорости, высоте и дальности полета. Они могут совершать полеты, как в верхнем воздушном пространстве, так и в нижнем. Так же БПЛА подразделяются на моторные, безмоторные, аэростатические, аэродинамические, реактивные (приложение 1, таблица 1). Важным является разделение БПЛА на малогабаритные и крупногабаритные. В данном дипломном проекте будет рассматриваться малогабаритные БПЛА. [1]

При проектировании малых летательных аппаратов основной проблемой является достижение небольших габаритов, веса и снижения энергопотребления, выполнение условий аэродинамики. Решение данных проблем приходит с использованием малогабаритных конформных антенн, которые должны излучать в направлении вдоль корпуса объекта, на котором они расположены, и при этом не выступать за его поверхность.

Актуальной задачей также является передача данных полезной нагрузки с летательного аппарата (ЛА) на наземный комплекс управления (НКУ). В этом случае требуется обеспечить передачу большого объема данных при заданных требованиях по полосе пропускания, вероятности битовой ошибки и др. При создании малых и сверхмалых БПЛА (взлетная масса до 5 кг) выдвигаются требования по минимизации размеров приемопередающего и антенно-фидерного оборудования.

Вследствие ограничений по габаритам и массе приемопередающего оборудования рациональным является использование единого радиоканала для передачи командно-телеметрических данных и данных полезной

нагрузки. Для удовлетворения требований по пропускной способности канала при передаче как данных телеметрии, так и данных полезной нагрузки, необходимо расширять полосу частот приемопередающего оборудования и использовать спектрально-эффективные методы модуляции, что приводит к повышенным требованиям по отношению сигнал/шум(ОСШ) на выходе приемника, снижению дальности действия радиосистемы, повышению вероятности битовой ошибки.

В данной магистерской работе рассматривается вопрос построения антенно-фидерного тракта наземной станции управления для беспилотного авиакомплекса. Для реализации необходимых характеристик и уменьшения масса-габаритных параметров был выбран вариант реализации на основе моноимпульсной зеркальной антенны, формирующей n-лучевую ДН.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обосновывается актуальность проблемы, отмечена новизна, формулируются цель и задачи работы, кратко излагается

содержание диссертации, перечисляются основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертационной работы посвящена актуальности темы и постановке основных задач исследования. В данной главе приведены теоретические материалы обосновывающие актуальность данной темы и причину выбора моноимпульсной следящей системы для построения наземной станции управления беспилотного авиакомплекса.

Вторая глава диссертационной работы посвящена созданию и описанию структурной функциональной и принципиальной схем. Для приёма полезной нагрузки и управления беспилотным авиакомплексом (БАК) применяется наземная станция управления (НСУ). Важной частью данного системы является антенно-фидерный тракт наземной станции управления беспилотного авиакомплекса. Который вместе с передатчиком, установленным на борту БАК, играет первостепенное значение в обеспечении непрерывной стабильной радиосвязи между НСУ и БЛА.

Сбои в работе канала связи вызывают до 17% аварий при эксплуатации беспилотного авиакомплекса. Поэтому процесс разработки антенно фидерного тракта НСУ, тесно связан с разработкой АФТ для БАК и представляет собой неотъемлемую часть системы. Наибольшей помехозащищенностью обладает канал управления (КУ) беспилотным летательным аппаратом. Обеспечение требуемой помехозащищенности в КУ достигается необходимой EIRP передатчика НСУ, более узкой по сравнению с каналом связи БЛА-НСУ частотной полосой, применением эффективных методов помехоустойчивого кодирования, в сочетании с технологией *MIMO*.

Наибольшей эффективностью борьбы с пассивными помехами, обуславливающих многолучевость в канале связи (подстилающая поверхность земли, деревья, рельеф), на сегодняшний день обладают радиосистемы, реализующие технологию *OFDM-MIMO*.

Для увеличения помехозащищенности на предельных дальностях функционирования передатчик должен обладать возможностью адаптивного изменения скорости передачи полезной информации в зависимости от отношения сигнал/шум в канале связи. Это достигается путем соответствующего выбора вида используемой модуляции, степени "сжатия" (компрессии) видовой информации. Переключение режимов работы в передатчике должно осуществляться по командам НСУ, исходя из данных, полученных в результате измерения отношения сигнал/шум в приемнике. Поэтому приемо-передающая система должна содержать обратный низкоскоростной канал связи НСУ-БЛА, предназначенный для управления работой передатчика.

Антенны выбраны с и линейной поляризации, для получения нужных параметров к инвариантности положения БПЛА относительно наземной

станции управления (НСУ). Антенна представляет собой конформную антенную решетку.

Таким образом, к приёмной системе предъявляются следующие основные требования:

- Широкополосность и возможность приёма различных видов информации;
- Осуществление приёма на требуемой дальности;
- Помехозащищённость канала связи от воздействия помех и физических воздействий среды (атмосферные явления, коррозия) ;
- Стабильность параметров, надёжность;
- Экономическая целесообразность.

Третья глава диссертационной работы посвящена численному моделированию излучателя и численное исследование электродинамических характеристик. Моделирование полуволновой вибраторной антенны с геометрическими размерами подложки 40:30 мм с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 4,5$ . Длина волны  $\lambda = 52\text{мм}$ . Длина вибратора равная  $\lambda/2 = 26\text{мм}$ . Металлический рефлектор толщиной 10 мм. Длина дорожки близка к  $\lambda/4 = 13\text{мм}$ . Толщина диэлектрика 0,8 мм, толщина металлизации 0,001мм. Модель антенны приведена на рисунке 6.1.

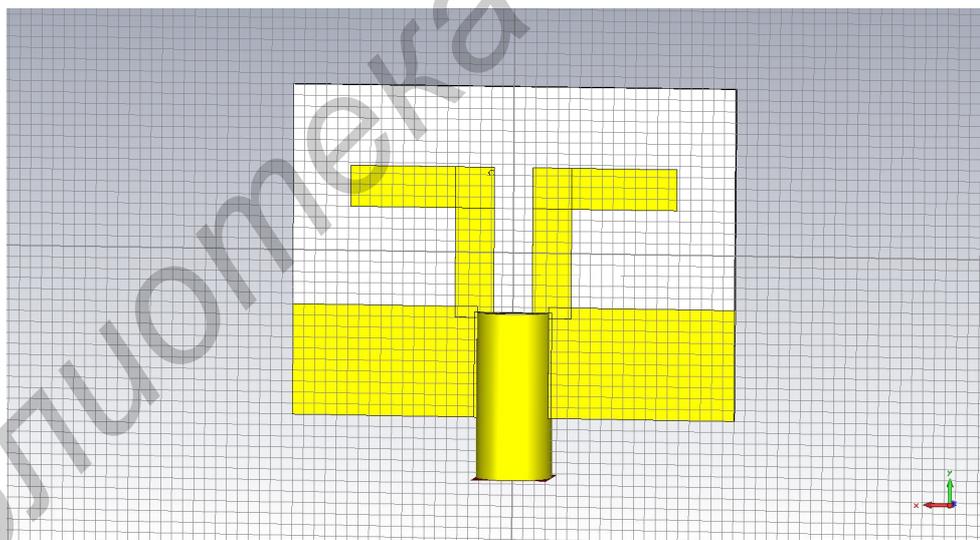


Рисунок 6.1 – Модель антенны в пакете *CST Microwave*

При моделировании стремился добиться оптимального сочетания основных параметров: КСВ и согласования антенны (активная/реактивная составляющая).

Результаты моделирования представлены на графиках (6.2-6.5):

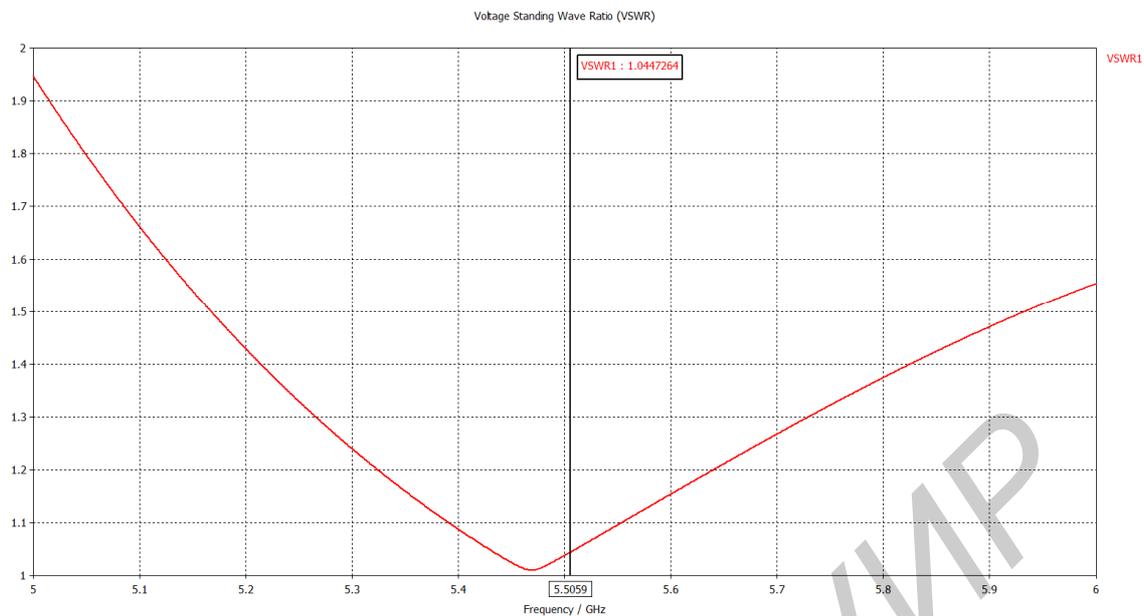


Рисунок 6.2 – Зависимость КСВ от частоты

на частоте  $f=5.5\text{GHz}$  КСВ=1,044

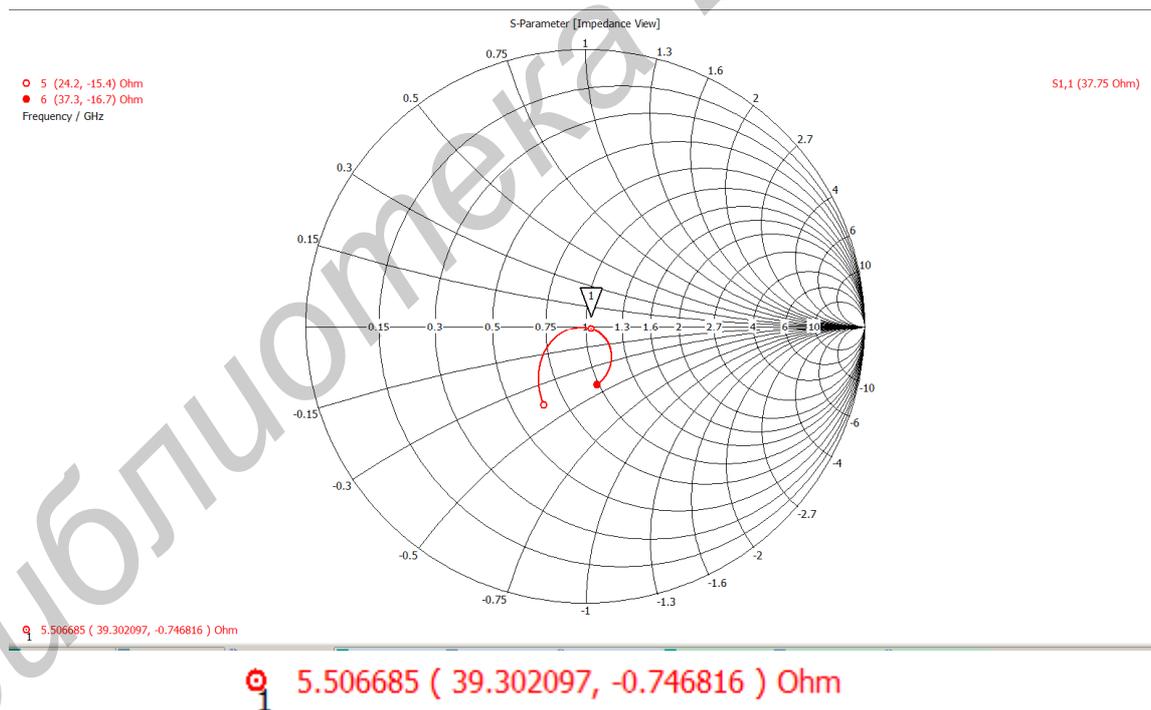
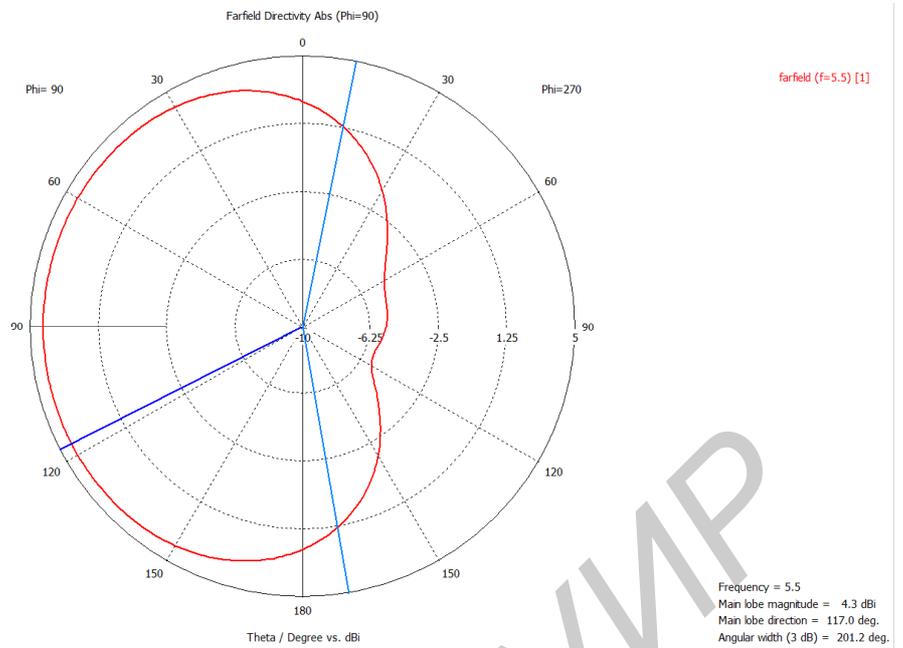


Рисунок 6,3 – Диаграмма ВольпертаСмитта



Frequency = 5.5  
 Main lobe magnitude = 4.3 dBi  
 Main lobe direction = 117.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 201.2 deg.

Рисунок 6.4– Диаграмма направленности моделируемой антенны в полярных координатах

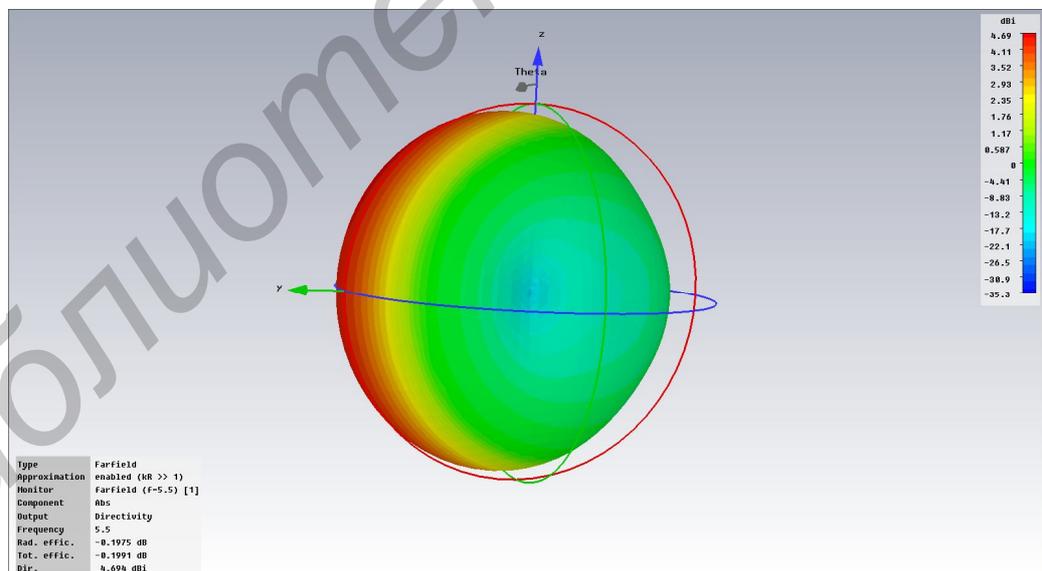


Рисунок 6.5 – Диаграмма направленности моделируемой антенны в 3D координатах

Четвёртая глава диссертационной работы посвящена моделированию антенной решётки со сложным облучателем. Зеркальная сканирующая параболическая антенна НСУ обеспечивает связь с БПЛА при удалении

последнего на максимальное расстояние от НСУ. При этом предусмотрено сканирование в заданном вертикальном секторе за счет автоматического перемещения облучателя. Схематично конструктив антенного комплекса дальней связи (АКДС) представлен на рисунке 1: 1 – параболическое решетчатое зеркало с габаритами 1200x950x259 мм; 2 – облучатель, включающий в свой состав активный вибратор (2а) и рефлектор (2б); 3 – центральная штанга, внутри которой может располагаться необходимое приемо-передающее оборудование. Такое расположение позволяет минимизировать ослабление уровня сигнала в линии между антенной и приемным трактом; 4 – отклоняющая штанга, с помощью которой осуществляется смещение узлов 2 и 3 относительно центрального положения.

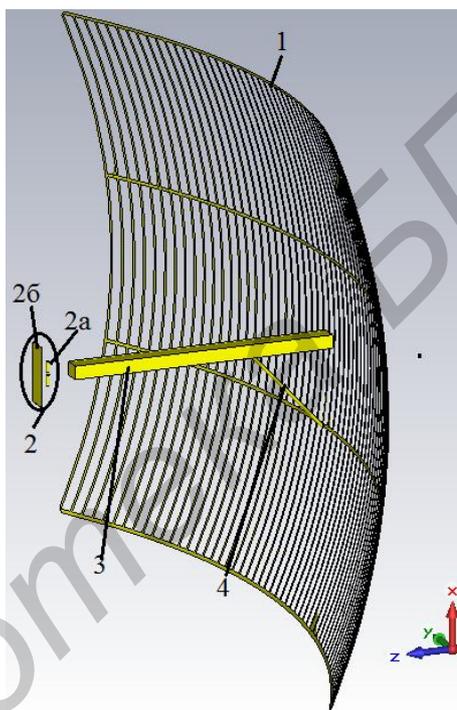


Рисунок 1 – Конструктив АКДС НСУ (схематично)  $\alpha$   $\beta$

Принцип функционирования: при угловом отклонении облучателя из положения фокуса на угол  $\alpha$  происходит смещение ориентации максимума диаграммы направленности в пространстве на угол  $\beta$  (сканирование) (см. рисунок 2).

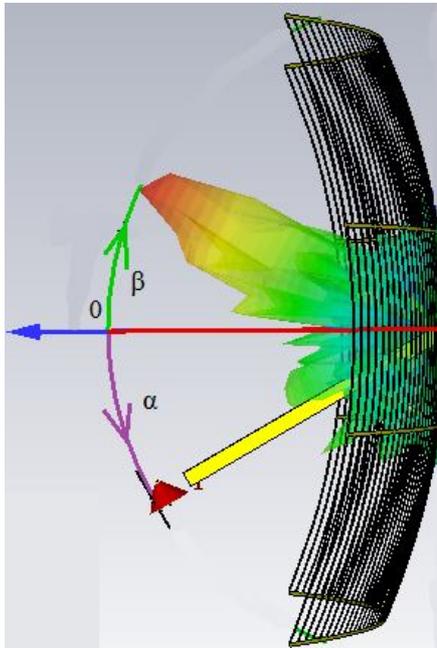


Рисунок 2 – Пояснение принципа вертикального сканирования (E плоскость)

Библиотека БГУИР

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа периодических, научно-технических источников, выявлены основные проблемы построения антенно-фидерного тракта для малых беспилотных летательных аппаратов. Определены основные проблемы, влияющие на передачу видеоизображения высокого качества с борта летательного аппарата на наземную станцию управления.

Показано, что единственным способом уменьшения массы габаритных параметров и упрощения конструкции с сохранением заданных характеристик является построение сканирующей антенной системы с изменяющимся углом наклона отражателя.

Разработаны структурная и функциональная схемы антенно-фидерного тракта наземной станции управления беспилотного авиакomплекса, обеспечивающие высокое качество передачи полезной нагрузки при оптимальном отношении сигнал/шум системы.

На основе функциональной схемы разработаны электрические принципиальные схемы антенно-фидерного тракта для беспилотного летательного аппарата диапазона 2.4ГГц с использованием серийно выпускаемых интегральных схем.

Выполнено моделирование антенно-фидерного тракта наземной станции управления беспилотного авиакomплекса с помощью программного пакета *CSTMICROWAVESTUDIO*. Также выполнен анализ результатов моделирования и сделан вывод об эффективности выбранной конструкции.

Разработанная система в настоящее время очень востребована и работа в данной области является перспективной.