

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Мурманский государственный технический университет»
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)

Институт «Морская академия»

Специальность 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»

Квалификация выпускника – инженер

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «РЭСиТРО»
канд. техн. наук, доцент

_____ Борисова Л.Ф.

« ____ » _____ 20__ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к выпускной квалифицированной работе
«Разработка клеверной антенны с емкостной нагрузкой»
ВКР.ТРОс15о.250503.ПЗ

Обучающаяся _____ К. А. Анисимова

Руководитель _____ Ф. Д. Кукуи

Нормоконтролер _____ Д. А. Давлетова

Рецензент _____ О. А. Порк

Мурманск
2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Мурманский государственный технический университет»
(ФГАОУ ВО «МГТУ»)

Институт «Морская академия»

Специальность 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»

Квалификация выпускника – инженер

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «РЭСиТРО»
канд. техн. наук, доцент
_____ Борисова Л.Ф.
« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Обучающаяся _____ Анисимова Кристина Андреевна

1. Тема выпускной квалификационной работы

_____ Разработка клеверной антенны с емкостной нагрузкой

Утверждена приказом по МГТУ _____ №735–п/а от 31.08.2020 г.

2. Срок сдачи ВКР _____ 08.02.2021 г.

3. Исходные материалы для проектирования:

- открытые реестры ФИПС;
- информационные ресурсы Роспатента;
- литературные и другие источники по антенно – фидерным устройствам;
- программы моделирования антенн MMANA – GAL.

4. В ВКР должны быть разработаны следующие разделы:

- введение;
- исследование особенностей работы антенн с круговой поляризацией;
- анализ новаций клеверных антенн, разработанных на кафедре РЭСиТРО;
- анализ работы клеверных антенн;

- технико–экономические характеристики, разработанной антенны;
- заключение.

5. ВКР представляется:

- a) расчётно – пояснительной запиской;
- b) графическим материалом.

6. Содержание расчётно – пояснительной записки должно включать:

- основные характеристики и параметры антенн;
- прикладное исследование существующей ситуации;
- исследование клеверных улучшенных модификации;
- безопасность и экологичность производства.

7. Перечень графического материала: эскизы антенн, диаграмма направленности антенн, фотографии.

Руководитель ВКР:

к.т.н., руководитель направления «Управление по транспортно-му обеспечению» ООО «Газпромнефть–Приразломное»,

Кукуи Фирмин Дживо

(учёная степень, учёное звание, должность, ФИО, подпись)

Дата выдачи задания «01.09.2020 г.»

Обучающаяся Анисимова Кристина Андреевна

(ФИО, подпись)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает 60 с. текста, 26 рисунков,
20 литературных источников

Ключевые слова: клеверная антенна, согласование клеверных антенн, круговая поляризация, емкостная нагрузка.

Объектом проектирования является разработка клеверной антенны с емкостной нагрузкой.

Цель проектирования – разработать клеверную антенну с емкостной нагрузкой. Изучить информационные литературные источники по антенным устройствам. Выполнить патентный поиск. На базе анализа выявленных аналогов выработать техническое решение антенного устройства. Провести компьютерное моделирование с применением прикладного программного обеспечения MMANA–GAL. По полученным результатам создать макетный образец и провести электрические исследования.

В результате дипломного проектирования разработано техническое решение широкополосной антенны с упрощенным согласованием.

Степень внедрения — изготовлен опытный образец антенны.

Действующий макет клеверной антенны с емкостной нагрузкой предназначается для использования в учебном процессе при проведении лабораторных работ и выполнении научных работ студентами и курсантами.

Положительный эффект от использования емкостной нагрузки, в разработанном макете с возможностью ее изменения, проявляется в изменении электрических характеристик антенны в целях дальнейших исследований.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ АНТЕНН С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ.....	7
1.1 Особенности электрических характеристик антенн.....	7
1.2 Преимущества круговой поляризации.....	13
1.3 Синописис основных типов антенн с круговой поляризацией.....	18
2 АНАЛИЗ ИНОВАЦИЙ КЛЕВЕРНЫХ АНТЕНН РАЗРАБОТАННЫХ НА КАФЕДРЕ РЭСИТРО.....	22
2.1 Квазишунтовой клевер.....	22
2.2 Клеверная антенна с рамочными переизлучателями.....	23
2.3 Этажерочная антенна круговой поляризации.....	24
2.4 Квазишунтовой клевер с резонатором.....	25
3 АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛЕВЕРНЫХ АНТЕНН.....	27
3.1 Клеверная антенна с емкостной нагрузкой.....	27
3.2 Исследование клеверных антенн с емкостной нагрузкой.....	30
4 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАЗРАБОТАННОЙ АНТЕННЫ.....	34
4.1 Разработка действующего макета.....	34
4.2 Экономическая эффективность антенны.....	43
4.3 Техника безопасности при работе с антеннами.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	58

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Анисимова К. А.			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Кукуи Ф. Д.				5	60
Реценз.		Порк О. А.			Пояснительная записка ФГАОУ ВО МГТУ		
Н. Контр.		Давлетова Д. А.					
Утверд.		Борисова Л. Ф.					

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа «разработка клеверной антенны с емкостной нагрузкой» относится к направлению совершенствования существующего парка клеверных антенн круговой поляризации.

Стремительное усовершенствование и применение беспилотных летательных аппаратов, как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности, привело к увеличению спроса на новые технические решения, в том числе и к антенным системам, неотъемлемым атрибутам беспроводных линий связи. Учитывая непредсказуемость положений беспилотников в пространстве, для надёжности электромагнитной доступности, независимо от рассогласования осей приёмных и передающих антенн, наиболее полно предъявляемым требованиям отвечают изотропные антенны круговой поляризации. Клеверные антенны относятся именно к этому классу, имеют наибольшее распространение, но используются преимущественно в классической версии, разработанной семьдесят лет тому назад. Попытки разработчиков создать совершенные антенны на других принципах конструирования приводят к идентичным результатам по электрическим характеристикам при снижении механической надёжности или усложнении технологии изготовления. В свою очередь, потенциал развития клеверных антенн не исчерпан, так как их взрывное применение началось только сейчас.

Изначально беспилотные летательные аппараты использовались в военных целях, что особенно широко применяется и сейчас. С течением времени, и функциональная возможность беспилотных летательных аппаратов увеличилась: оценка ледовой обстановки, а именно мониторинг снежного покрова Земли, экологической обстановки, геофизическая разведка, картографирование, поисково-спасательные операции, безопасность на железной дороге, проверка состояния инфраструктуры, доставка грузов, управление стройплощадкой, контроль за состоянием оборудования (вет-

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

родвигатели, что сейчас строится в районе Териберки, буровые вышки, что сейчас строятся вдоль Северного морского пути и тому подобное). Перечисленные задачи могут решаться беспилотными летательными аппаратами круглосуточно практически независимо от погодных условий и без участия человека, а, следовательно, без риска для человеческой жизни, что является главным преимуществом беспилотников.

Актуальность исследования на базе предлагаемого технического решения аргументируется внедрением оптимизацией антенных устройств для использования беспилотных летательных аппаратов, что подтверждает перспективу дальнейшего применения. На основе изложенного, определен объект проектирования, следующие преследуемые цели и задачи перед выпускной квалификационной работой. Объектом проектирования является клеверная антенна с емкостной нагрузкой.

Определены следующие цели в работе:

- анализ литературных источников, нормативной документации и патентной информации по тематике антенных устройств круговой поляризации;
- поиск и исследование новых технических решений с целью повышения эффективности работы клеверных антенн, улучшению их основных параметров и технологии изготовления, что и требуется исследовать;
- на базе анализа перспектив в сфере антенных устройств беспилотных летательных аппаратов, изыскать подходы и выработать уникальные технические решения с улучшенными параметрами и перспективой их практического применения.

Определены следующие задачи в работе:

- провести анализ работы антенн с круговой поляризацией, их принципов действия, сферу применения, достоинства и недостатки, потенциал на дальнейшее развитие;
- исследовать существующий парк клеверных антенн;
- провести анализ текущей потребности в антеннах круговой поляри-

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

зации и определить перспективные направлений развития;

– на основе анализа сведений, полученных в процессе обработки информации из источников информации, разработать версии технических решений в перспективных направлениях с улучшением характеристик существующих вариантов антенн, с возможностью адаптации их к уже используемым современным объектам, предъявляющим требования к антенному оборудованию в рамках, разрабатываемых в исследовании антенн;

– использовать прикладные программы компьютерного моделирования для расчёта параметров антенн и электромагнитных полей в целях более наглядного, надёжного, быстрого, точного и эффективного получения результатов;

– опираться и использовать мировой уровень разработок по материалам патентных фондов и информационных источников;

– подготовить заявочные материалы для регистрации интеллектуального продукта, разработанного патентоспособного технического решения, в качестве полезной модели.

Гарантированные линии обмена информацией между беспилотным летательным аппаратом и наземным комплексом управления обеспечивает решение большого количества задач, которые выполняют беспилотные летательные аппараты. Постоянный контроль над оборудованием с возможностью подправлять параметры беспилотного летательного аппарата в полете – это основное требование для передачи данных с наземного комплекса управления на большие расстояния. При исследовании и решении данных задач значение антенн в условиях сложной электромагнитной обстановки становится определяющим, а условия эксплуатации к ним все жестче.

Выпускная квалификационная работа демонстрирует рассмотрение направлений совершенствования клеверных антенн, разрабатываемых на кафедре РЭСиТРО на базе проведения компьютерного моделирования, с помощью программного пакета MMANA–GAL.

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ АНТЕНН С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

1.1 Особенности электрических характеристик антенн

Электрические характеристики антенн отражают зависимость образованного ими электромагнитного поля от направления излучения и частоты излучаемых колебаний.

Приемные и передающие антенны характеризуются основными параметрами:

- коэффициент усиления антенны;
- импеданс антенны;
- полоса пропускания;
- коэффициент стоячей волны;
- поляризация приема или излучения электромагнитных волн;
- диаграмма направленности антенны;
- коэффициент направленного действия;
- коэффициент полезного действия антенны;
- шумовая температура антенны.

Коэффициент усиления антенны в теории антенн рассматривается как самостоятельный параметр в связи с тем, что «именно эта величина легко поддается непосредственному измерению» (причем это утверждение относится к максимальному коэффициенту усиления).

Экспериментально коэффициент усиления определяют, используя известные методы измерения параметров антенн, например, метод сравнения (замещения), метод двух антенн или метод плоского экрана.

Коэффициент усиления разрабатываемой антенны в выпускной квалификационной работе вычислялся с помощью программы MANNA–GAL.

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Важным параметром антенн является входное сопротивление: входной импеданс антенны, характеризующее её как нагрузку для передающего устройства или фидера. Входным сопротивлением антенны называется отношение напряжения между точкой подключения (точкой возбуждения) антенны к фидеру, к току в этих точках.

Направленность антенны – способность антенны излучать электромагнитные волны в определенных направлениях. Это свойство, при котором, единичная площадка, размещенная перпендикулярно направлению распространению электромагнитной волны, но при этом характеризуется плотностью потока излучаемой антенной мощности, а проходящими сквозь нее. Это свойство антенны характеризуется плотностью потока излучаемой антенной мощности, а именно мощностью электромагнитных волн, проходящих сквозь единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. В разных направлениях плотность потока мощности направленной антенны имеет различную величину.

Диаграммой направленности антенны называется диаграмма, на которой графически представлена величина плотности потока излучаемой мощности в разных направлениях. Очевидно, что при снятии диаграммы направленности плотность потока мощности должна измеряться на одинаковом расстоянии от антенны.

Диаграмму направленности строят в полярной или декартовой системе координат. В полярной системе координат диаграммы выполняются следующим образом: под углом к исходному направлению откладывают радиус – вектор, длина которого пропорциональна плотности потока излучаемой мощности в направлении данного радиуса, а затем концы этих радиусов – векторов соединяют плавной линией.

Декартовая система координат по оси абсцисс откладывается угол, характеризующий направление в соответствующей плоскости, а по оси ординат – излучаемая мощность. Диаграммы направленности, выполненные

в полярных координатах, отличаются большой наглядностью, поскольку они дают возможность представить, как изменяется интенсивность поля в пространстве. Диаграммы направленности в прямоугольной системе координат могут иметь любой масштаб по обеим осям, благодаря чему они отличаются большой четкостью, даже в области малой интенсивности электромагнитного поля.

Диаграмма направленности антенны часто может иметь много лепестков. Главным условием, предъявляемое к такой антенне, является предельное ослабление боковых лепестков в ее диаграмме направленности. Если это требование не выполняется, то часть излучаемой мощности рассеивается бесполезно в боковых направлениях.

Диаграмма направленности в вертикальной и в горизонтальной плоскости используется при исследовании в выпускной квалификационной работе.

Поляризационной характеристикой антенны называется зависимость величины вектора напряженности электрического поля от угловых координат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. Распространённым случаем поляризации является эллиптическая.

Большую роль в технике антенно–фидерных устройств играет вопрос согласования антенны с фидерной линией. Под согласованием подразумевается преобразование сопротивления нагрузки линии в сопротивление, равное волновому сопротивлению, в результате чего в линии устанавливается бегущая волна. Практически даже на фиксированной волне, а особенно в полосе частот, коэффициент стоячей волны не получается в точности равным единице. Важно, чтобы коэффициент стоячей волны не получался меньшим допустимой величины, на практике определение коэффициента стоячей волны в используемых антеннах рассматривают на уровне 1,5 и 1 децибел.

Режим бегущей волны определяет преимущества работы линии передачи энергии. Для определенной величины мощности, передаваемой по линии без потерь (или практически с малыми потерями), отношение мак-

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

симального напряжения в рассогласованной линии к напряжению в согласованной линии обратно пропорционально квадратному корню из коэффициента бегущей волны.

Опасность возникновения электрического пробоя, при передаче по линии больших мощностей, вследствие указанное обстоятельство является одной из важных причин, которая требует согласования нагрузки с линией, а также устранения всяких неоднородностей в фидерном тракте.

Входное сопротивление определяется отражениями, возникающими в волноводном тракте, если антенна питается волноводным фидером, то входное сопротивление антенны состоит из суммы сопротивления излучения антенны и сопротивления потерь, которая в общем случае величина комплексная, обозначаемая импедансом.

Реактивная составляющего входного импеданса в резонансе должна быть равна нулю. На частотах выше резонансной импеданс имеет – индуктивный характер, а на частотах ниже резонансной – емкостной характер, что вызывает потерю мощности на границах рабочей полосы антенны.

Сопротивление потерь антенны зависит от многих факторов, например, от близости ее к поверхности Земли или проводящим поверхностям, омических потерь в элементах и проводах антенны, потерь в изоляции.

Входной импеданс антенны должен быть согласован с волновым сопротивлением фидерного тракта (или с выходным сопротивлением передатчика) так, чтобы обеспечить в фидерной линии режим, близкий к режиму бегущей волны.

Согласование от выхода передатчика и фидера и до согласования антенны с фидером – это характеристика параметра коэффициента стоячей волны. Но в действительности, при проведении эксперимента устанавливается, что некоторое количество передаваемой энергии отражается и возвращается в передатчик, при этом происходит перегревание узлов передатчика и может его вывести из строя. В идеале, коэффициент стоячей волны должен

быть равным 1, значения до 1,5 считаются приемлемыми. А для приемных устройств, приемлемы и значения до 2 и более, если эти устройства не относятся к ответственным.

1.2 Преимущества круговой поляризации

Основной проблемой при запуске первого искусственного спутника Земли – неравномерное вращение спутника и его постоянно изменяющиеся углы обзора, ведь он пересекал небесный свод по дуге от горизонта до горизонта. Атмосферные возмущения оказывали влияние на волны, поэтому применение антенн с линейной поляризацией стало невозможным на спутниках.

Вплоть до 1990-х годов антенны с круговой поляризацией были редко применяемой технологией, используемой только для спутниковой связи. Это позволило спутникам и антеннам наземных станций передавать информацию, не обращая внимания на вертикальное или горизонтальное расположение линейно поляризованных антенн (волноводных рупоров, стержней или диполей). Однако, электромагнитное поле антенны с круговой поляризацией всегда вращается (в отличие от поля линейно поляризованной антенны). Оно может вращаться в двух возможных направлениях, и это «направление» вращения называется левой или правой круговой поляризацией, обеспечивающей образование двух каналов связи от одной антенны. Использование обоих каналов передачи информации позволяет использовать на одной частоте 2 канала для одного и того же спутника, поскольку антенны с разным направлением вращения развязывают сигналы друг от друга. Таким образом, для одночастотного распределения могут использоваться два одновременных радиочастотных канала с двумя разными антеннами использования вращения поляризации, что еще называется поляризационным разносом.

Поляризация, определенное свойство электромагнитных излучений, в которых направление и величина колеблющегося электрического поля свя-

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

заны определенным образом. Неполаризованность волны – это когда при излучении электромагнитной волны направление вектора напряженности электрического поля невозможно предсказать в любой промежуток или момент времени. Поэтому, в поляризации вектор напряженности в период времени пространственной ориентации электрического поля зависит от определенного закона. Необходимое условие функционирования приемных и передающих радиосистем в диапазонах частот свыше 30 МГц поляризационное совпадение антенн. Исторически, с преимущественным использованием беспроводных технологий для радиосвязи и телевидения, используется линейная горизонтальная или вертикальная поляризация радиоволн. Это отражается при работе радиоэлектронных средств, размещением приёмноизлучающих структур антенных устройств с ориентацией в одних и тех же плоскостях при передаче и приёме радиосигналов.

Круговая поляризация является частным случаем эллиптической поляризации и представляет собой наложении двух одинаковых волн с неизменяющимся во времени частотой, начальной фазой и амплитудой, при этом их векторы напряженности электрического поля данных волн совершают колебания во взаимно перпендикулярных направлениях, кривая, описываемая концом проекции вектора результирующей волны, имеет вид эллипса. Направление вращения вектора электрического поля происходит по часовой стрелке или против часовой стрелки, относительно распространения, по этой причине различают волны с правым или левым направлением вращения вектора напряженности электрического поля.

Активное применение круговой поляризации осуществляется в системах спутниковой связи, когда для приема сигналов расположение плоскостей поляризации антенных систем не является существенным.

Применять антенны с линейной поляризацией в области беспилотных летательных аппаратов невозможно, ведь идет рассогласование плоскостей при передаче и приёме радиосигналов, при этом мощность уровня сигнала в

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	<i>Лист</i>
						14
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

значительной степени уменьшается, что устраняют антенны с круговой поляризацией.

Круговая поляризация образовывается при существовании двух сигналов прихода со сдвигом фазы на 90 градусов, а также из-за одновременного перемещения плоскополяризованных антенн на 90 градусов. В зависимости от направления вращения вектора напряженности разделяют волны с правым направлением вращения вектора напряженности электрического поля и левым. Волна с круговой поляризацией при отражении от земли изменяет свой вектор направления вращения на альтернативный (левый – правый, правый – левый), при этом повышается помехозащищенность, заключающаяся в отклонении «препятствия» (помеха), в виде переотражённых сигналов (рисунок 1.2.1).

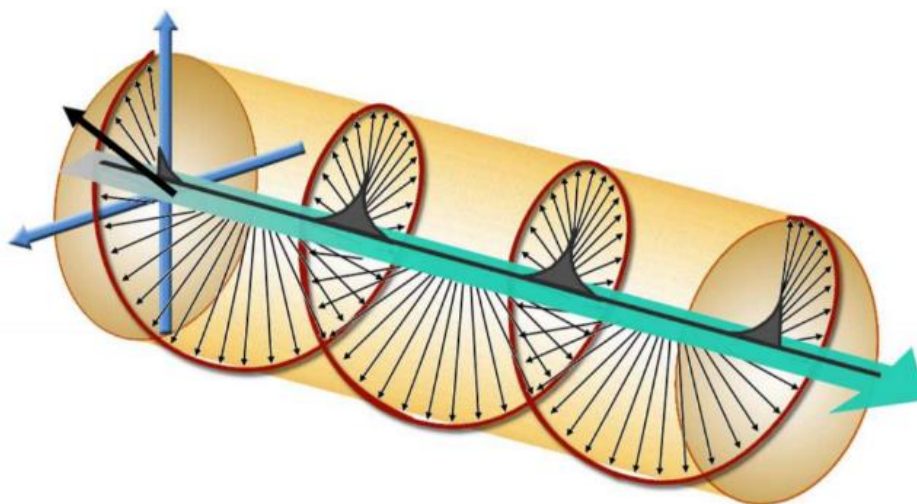


Рисунок 1.2.1 – Электромагнитная волна с правым направлением вращения круговой поляризацией (против часовой стрелки) [10]

Полностью избавиться от побочного сигнала в антенных системах практически невозможно, потому что всегда часть отраженного от земли и окружающих предметов сигнала будет попадать в антенну Б. Основополагающий

сигнал, поступающий на приемную антенны – основной сигнал (рисунок 1.2.2).

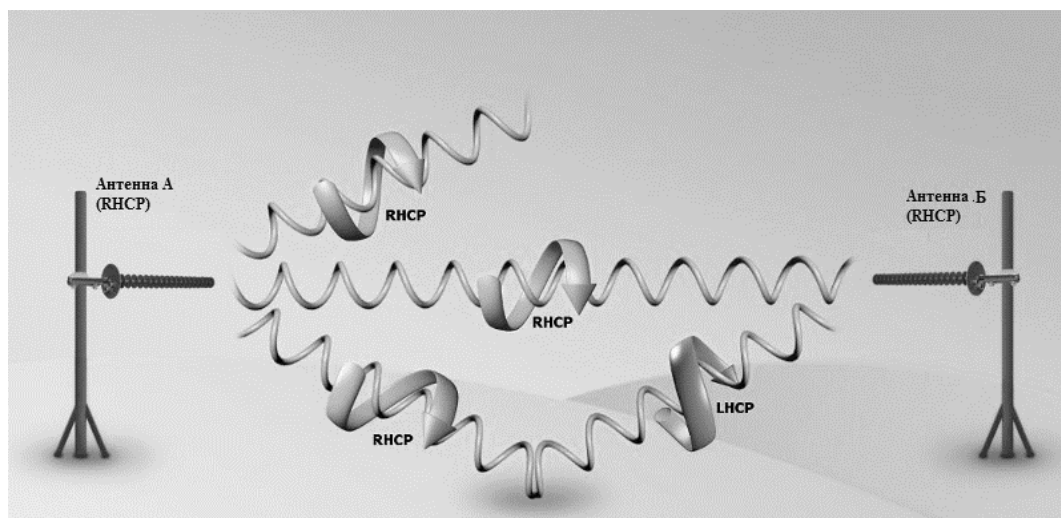


Рисунок 1.2.2 – Правая круговая поляризация
(а переотражённая уже левая) [10]

Кроме основного сигнала попадают и переотраженные сигналы, которые появляются за счет отражения от поверхности земли (меняется сторона вращения вектора напряженности электрического поля) [8].

Излучённый сигнал с правосторонним вращением после отражения будет вращаться влево. При линейной поляризации сигнал при отражении изменяет свою фазу на 180 градусов, но сохраняет ориентацию своего вектора поляризации. Антенны круговой поляризации не принимают сигнал с противоположным вращением. И, следовательно, на антенне Б, отражённый сигнал, теперь с противоположной поляризацией. Антенна Б просто не обнаружит этот сигнал. Следует различать антенны с правой (right-hand circular polarized) и левой (left-hand circular polarized) поляризацией. На приёмнике и передатчике должны быть установлены антенны одного направления поляризации, в противном случае сигнал не будет принят.

Антенны с разным направлением вращения вектора напряженности электрического поля несовместимы. Преимуществом антенн с круговой

поляризацией является не только высокая помехозащищенность, за счет селекции переотражённых сигналов, но и «просачивание» сигнала, с некоторым ослаблением, через проводящие преграды (рисунок 1.2.3).

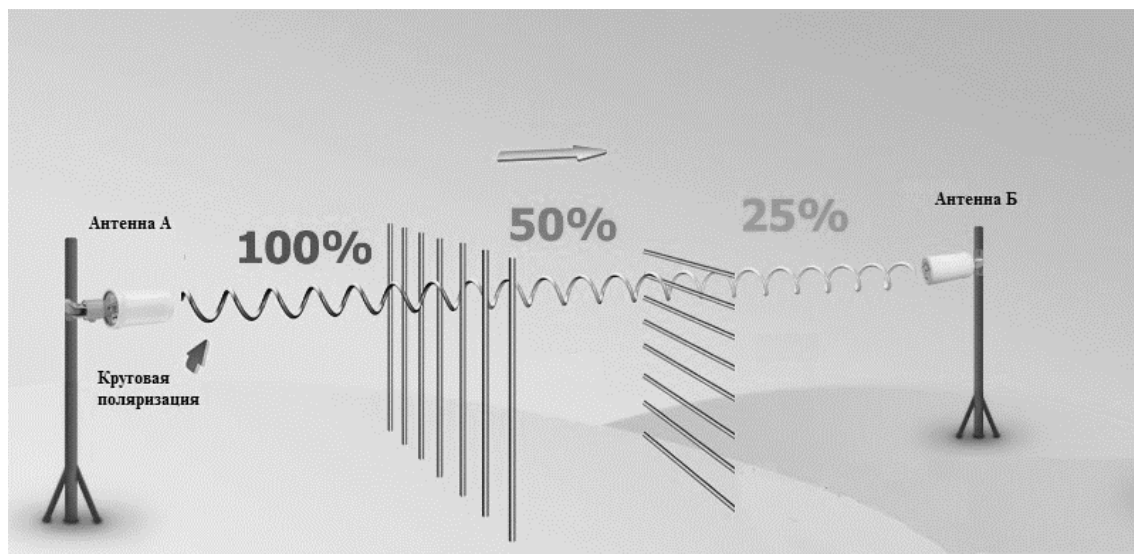


Рисунок 1.2.3 – «Просачивание» сигнала с ослаблением, через проводящие преграды [10]

Основой применения антенн с круговой поляризацией является необязательность согласования взаимного расположения антенных устройств, в отличие от линейной, где строго требуется поляризационное соответствие, что повышает помехозащищённость беспроводных радиоканалов связи, из-за устранения влияния переотражённых сигналов и уменьшает влияние экранирующих препятствий, из-за прохождения радиоволн через них. Именно из-за этого при непредсказуемых маневрах носителей, оборудованных такими антенными устройствами, обеспечивается электромагнитная доступность в самых сложных ситуациях, что подтверждает реализацию компетенции ПК–24.

1.3 Синопис основных типов антенн с круговой поляризацией

Спиральными антеннами наиболее просто поясняется принцип круговой поляризации, если рассматривать движение электрических зарядов по спирали в режиме бегущей волны. Однако круговая поляризация в данных антеннах реализуется в случаях, когда количество витков в спирали больше трех, а длина каждого витка равна λ . Именно из-за этого спиральные антенны считаются классическими для применения с использованием круговой поляризации, однако комбинации, например, двух идентичных спиральных антенн с противоположными сторонами вращения поляризации, при синфазном включении будут обеспечивать реализацию линейной поляризации.

Спиральные антенны применяются в качестве составляющей антенных решеток и облучателей зеркальных антенн, дециметровом и сантиметровом диапазоне длин волн. Но основное применение их заключается в получении более контрастного изображения цели на фоне существующих в окружающем пространстве помех (рисунок 1.3.1).



Рисунок 1.3.1 – Спиральная антенна [10]

Одним из типов антенн, относящихся к всенаправленным антенным устройствам с круговой поляризацией, является квадрифилярная антенна. Квадрифилярная антенна состоит из четырех спиральных излучателей, расположенных с угловым сдвигом на 90 градусов, выполненных в виде

фигурных излучающих металлических проводников, которые на одном конце соединены друг с другом, а на другом подключены к выходам схемы питания, причем проводники могут быть выполнены в виде полосковых проводников и иметь разную ширину. Такое выполнение спиральных излучателей обеспечивает реализацию входного сопротивления антенны близким к стандартному значению в 50 Ом, что улучшает согласование антенны, расширяет полосу рабочих частот и повышает ее коэффициент усиления (рисунок 1.3.2).



Рисунок 1.3.2 – Квадрифилярная антенна [10]

Квадрифилярные антенны широко используются в различных радиоэлектронных системах, в том числе и в системах навигации. К числу их достоинств относятся простота конструкции, относительно малые габариты и при этом всенаправленность излучения.

Обеспечение широкополосности возможно при использовании спиральных антенн – диапазонных антенн бегущей волны, основой которых является проводник в форме спирали. Отличительной особенностью спиральных антенн является то, что их диаграмма направленности может быть от близкой к круговой до осевой в зависимости от соотношения длины

витка спирали к длине используемых радиоволн. Это дает возможность применять их в спутниковых системах передачи данных. Еще одна отличительная черта данного типа антенн – высокое входное сопротивление. В ряде случаев это позволяет без каких–либо дополнительных согласующих элементов привести его к сопротивлению обычного коаксиального кабеля, равного 50 Ом. Осевое излучение таких антенн формируется только отдельной активной областью. Данная область ограничена витками, длина которых близка к длине волны.

Клеверная антенна была изобретена американскими специалистами Робертом Мелленом и Карлом Милнером в 1960-х годах, когда им удалось создать для радиолюбителей простую по устройству и питанию всенаправленную в горизонтальной плоскости антенну круговой поляризации, названную TheSkew–PlanarWheel, которая впоследствии стала называться клеверной антенной. Но тогда такие устройства широкого распространения не получили. Клеверные антенны стали наиболее востребованными при развитии беспилотных летательных аппаратов из-за непредсказуемого положения носителей в пространстве и сложности трасс распространения радиоволн при их многогранном использовании, что подтверждает реализацию компетенцию ПК–24.

Антенна в виде клеверного листа с «двойной поляризацией» представляет собой три или четыре соединённых друг с другом «лепестка», в месте соединения которых подключается источник питания одним полюсом на наклонные отрезки, а другим на горизонтальные. Каждый тип такой антенны с круговой поляризацией имеет усиление вокруг основания листа клевера, с помощью этой антенны можно обеспечить максимальную производительность всей антенной системы. Можно считать, что отправной точкой для этой антенны является стандартная штыревая антенна. Применяв паяльник и транспортир для получения нужных углов можно превратить штырь в клеверный лист. Круговая поляризация возникает из–за размещения

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

дуговых участков под углом 45 градусов, разнесенных на расстояние кратное $\lambda/4$. Эскиз клеверной антенны показан на рисунке 1.3.3.

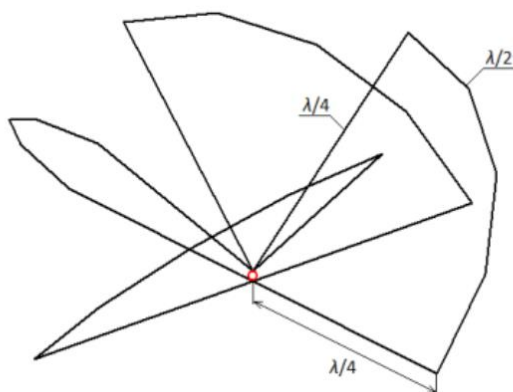


Рисунок 1.3.3 – Эскиз классической клеверной антенны
(изобретенной в 1960-х годах)

Лаборатория «электродинамика и распространения радиоволн» на кафедре РЭСиТРО МГТУ ведутся разработки новых технических решений антенных устройств и исследования их основных характеристик. Несмотря на то, что оригинальная, можно констатировать, законченная ажурная конструкция классической клеверной антенны визуалью формально безупречна и на основании этого широко тиражируется, она, всё же, не лишена возможностей дальнейшего совершенствования как электрических, так и механических характеристик.

Присущие некоторые недостатки классической клеверной антенны тщательно систематически исследуются, и на кафедре РЭСиТРО постоянно нивелируются в разработках новых технических решений, каждое из которых регистрировался как интеллектуальный продукт, «столбя» приоритет инноваций за Россией.

2 АНАЛИЗ НОВАЦИЙ КЛЕВЕРНЫХ АНТЕНН, РАЗРАБОТАННЫХ НА КАФЕДРЕ РЭСИТРО

2.1 Квазишунтовой клевер

Отправной точкой будущих новаций существующей клеверной антенны, разработанной в первой половине прошлого века стало следующее техническое решение, которое заключалось в введении шунтовых элементов [4]. С их помощью повысилась механическая надежность конструкции антенны и электрическая добротность нового технического решения под названием квазишунтовой клевер (рисунок 2.1.1).

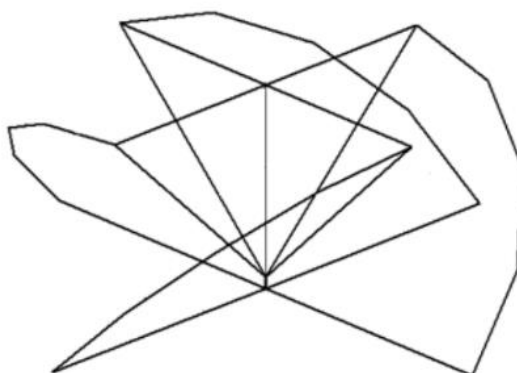


Рисунок 2.1.1 – Квазишунтовой клевер [4]

Модернизация рассматриваемого антенного устройства была построена на основании введения механических элементов жёсткости, что является наиболее подходящим для использования беспилотными летательными аппаратами, для которых она наиболее применима, при этом сохранились все параметры первоначальной клеверной антенны. Для этого, эквипотенциальные верхние точки, идущие к точкам питания, соединены крест – накрест перемычками – квазишунтами, с образованием точки нулевого потенциала на их пересечении, что позволяет в этой точке соединить их между собой, не нарушая электрических параметров антенного устройства.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.2 Клеверная антенна с рамочными переизлучателями

Основной характеристикой приёмо–передающих антенн – коэффициент усиления. Данный параметр антенных устройств был увеличен с помощью расширения горизонтальной апертуры антенны, как в представленной антенне круговой поляризации клевер с рамочными переизлучателями, запатентованной в 2017 году (рисунок 2.2.1).

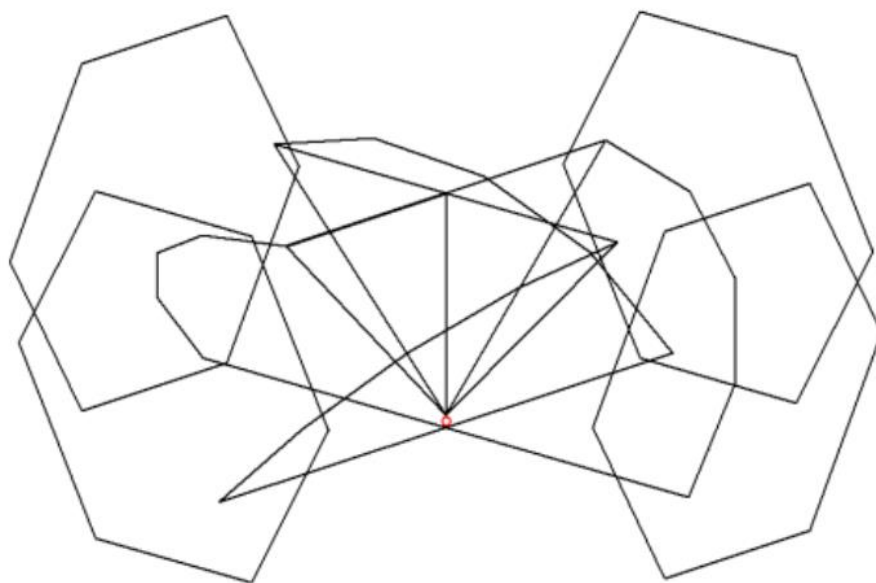


Рисунок 2.2.1 – Антенна круговой поляризации клевер с рамочными переизлучателями, запатентованная в 2017 году [2]

Данная версия направлена на улучшение коэффициента усиления. Антенна дополнена рамочным переизлучателем на расстоянии $0,3\lambda$ от оси антенны, вокруг конструкции фазированной решётки антенны круговой поляризации квазишунтовой клевер, обеспечивающими повышение коэффициента усиления [2].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.3 Этажерочная антенна круговой поляризации

Помимо использования рамочных переизлучателей, в целях повышения коэффициента усиления антенны распространённым приемом, с использованием директорных структур, повышающих направленность, является использование параллельных структур. Кроме того, возможно изменение и других характеристик антенны, к примеру, изменение поляризационных характеристик излучателя, как это делает в спиральных антеннах, но уже с образованием стеков, как в разработанной на кафедре РЭСиТРО этажерочной антенне круговой поляризации (рисунок 2.3.1).

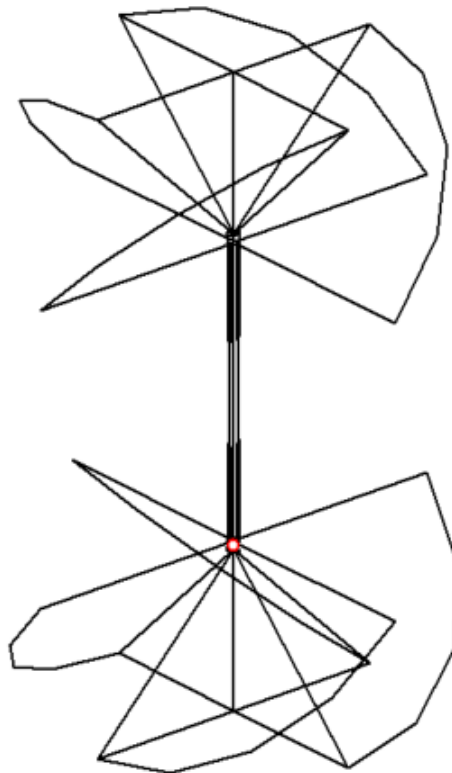


Рисунок 2.3.1 – Этажерочный клевер [5]

Расположение базовых элементов друг под другом, обеспечивается повышением коэффициента усиления антенной системы [5]. Это делается за счёт того, чтобы все сигналы, принятые каждым элементом, приходили к

общей точке в одной фазе и тем самым за счёт суммирования увеличивается наводимое в проводниковых элементах антенны увеличенную электродвижущую силу на выходе системы. В процессе поиска оптимального технического решения было исследовано множество версий, в результате которого было получено нескольких технических решений, которые были запатентованы как изобретения. Наглядным примером может служить, версия, превышающая по своим электрическим характеристикам, как ранее рассмотренная антенна с рамочным переизлучателем, так и широко используемые классические антенны линейной поляризации, что подтверждает реализацию компетенции ПК–26.

2.4 Квазишунтовой клевер с резонатором

Основное действие в целях повышения помехоустойчивости, особенно каналов управления беспилотниками от воздействия широкополосных помех, есть необходимость сужения полосы пропускания антенного устройства. Для реализации этих целей, разработано техническое решение, заключающееся вводом резонансного элемента вдоль конструкции устройства клеверной антенны, что без влияния на характеристики направленности обеспечило его размещение. Основное новшество в данной антенне было осуществлено преобразование вертикального проводника от точки пересечения квазишунтов, то есть точки нулевого потенциала, до одной из клемм сигнальной линии с образованием двухпроводной линии [3]. Что небезынтересно, так как с одной стороны образовалась резонансная четвертьволновая линия, а с другой – нейтральное соединение точки нулевого потенциала с узлом крепления антенны.

Кроме повышенной частотной избирательности и помехозащищенности в антенне упрощается устройство обеспечения прочности конструкции. Компьютерные модели антенны круговой поляризации квазишунтовой

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

клевер с резонаторным питанием были многократно проверены в ходе электронного моделирования в программе MMANA на частоту 300 МГц, с перекрытием рабочего диапазона частот 250–350 МГц. Частота 300 МГц выбрана для наглядности и простоты создания прикладных устройств, так как длина волны в этом случае равна 1 метру. Эскиз квазишунтового клевера с резонатором приведен на рисунке 2.4.1.

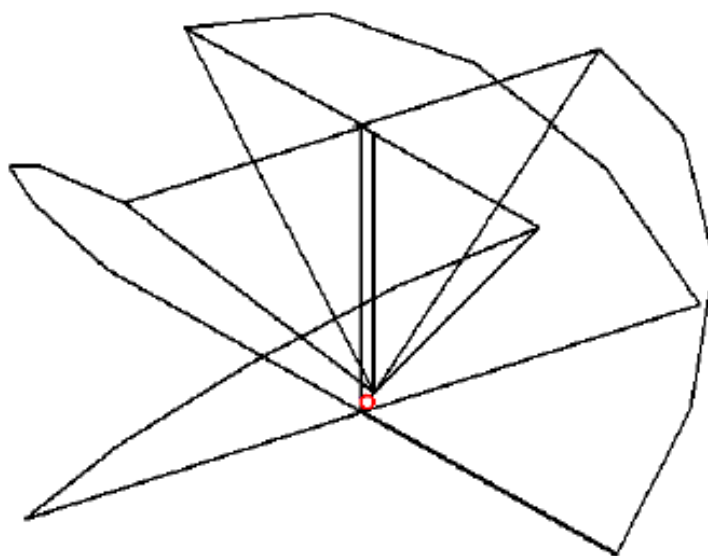


Рисунок 2.4.1 – Эскиз квазишунтового клевер с резонатором [3]

Результаты компьютерного моделирования полностью подтверждают теоретические предпосылки, а натурные исследования на изготовленном действующем макете подтвердили параметры результатов электронного моделирования. Полоса пропускания при резонаторном включении клеверной антенны сужается до 1,5 раз относительно классических подключений питания.

3 АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛЕВЕРНЫХ АНТЕНН

3.1 Клеверная антенна с емкостной нагрузкой

Классическая клеверная антенна сложна с точки зрения согласования. Для устранения этого недостатка в ходе проведения дальнейших исследований, с помощью программного пакета MMANA–GAL на частоте 300 МГц, были проведены исследования на базе теоретических предпосылок и опыта разработки спектра предыдущих технических решений клеверных антенн и разработаны инновационные технические решения, устраняющие некоторые недостатки [1]. Предлагаемые к рассмотрению версии направлены на возможность изменения электрических параметров антенны, в основном электрической емкости. Предложенный способ совершенствования клеверных антенн позволил, например, осуществлять «привязку» антенн к условиям размещения на объектах, с адаптацией к окружению переизлучателями. При установке антенны на самолете или на судне, электрическая ёмкость антенного устройства зависит от ближнего окружения переизлучателями и в случае нарушения симметрии, искажаются электрические параметры, поэтому была предложена возможность путем введения дополнительных элементов, которые механически можно изменять по месту, осуществлять вместе установки подстройку электрических характеристик.

Данное техническое решение при установке антенны может адаптировать её к окружению в месте установки, так как подстраивать характеристики антенны можно с помощью предложенных новаций. С помощью введённых элементов антенны, «настроечных» элементов, изменяемых в устройстве, а именно их длины, и размещения в пространстве в объёме антенны изменяется ее емкость. Например, возможная геометрия версии клеверной антенны круговой поляризации с емкостной нагрузкой представлена на рисунке 3.1.

					<i>ВКР.ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

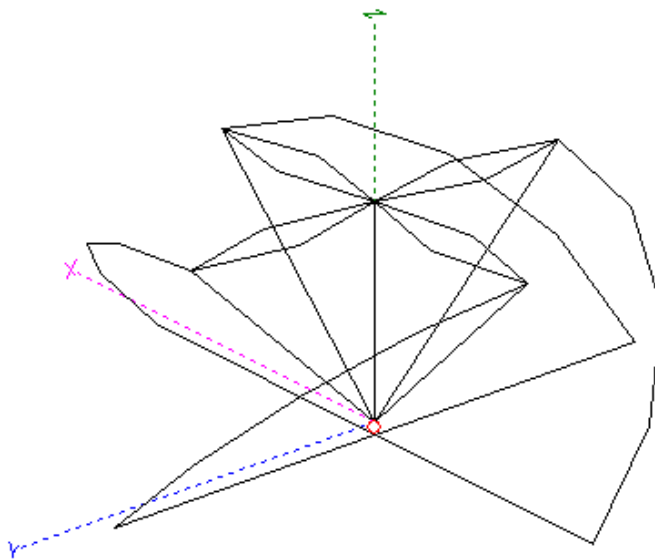


Рисунок 3.1 – Клеверная антенна
круговой поляризации с ёмкостной нагрузкой,
с разнесёнными на расстояние проводников расположенных
в горизонтальных плоскостях [1]

Изменение электрической емкости антенного устройства обеспечивает согласование антенны с питающим кабелем и для настройки антенны необходимо всего–навсего изменять длину малой оси ромбовидных плеч квазишунтов.

Дополнительно проводились, в ходе работы, исследования по улучшению согласования антенны с питающим кабелем, путем изменения радиуса проводников квазишунтов, что подтверждает реализацию компетенции ПК-25. Для наглядности приведен график зависимости в рабочем диапазоне частот, (рисунок 3.2) на котором видно, как зависит коэффициент стоячей волны (рисунок 3.3).

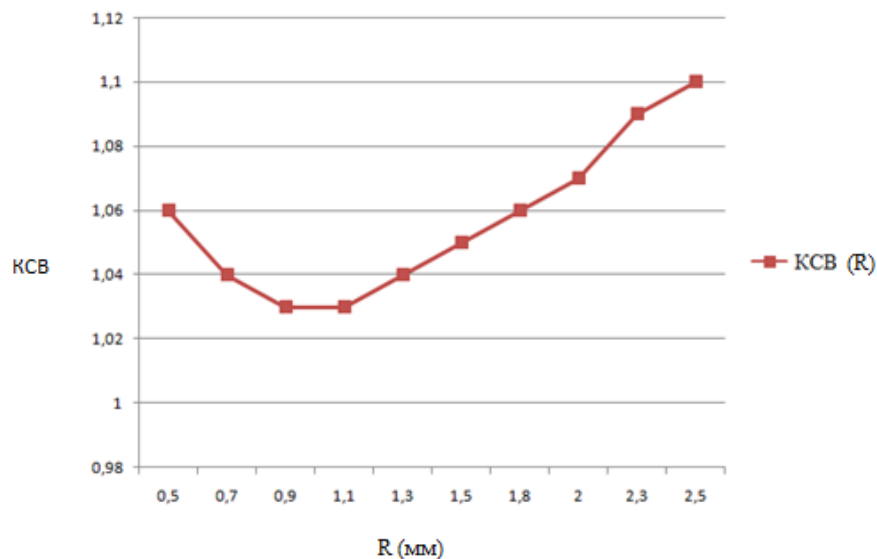


Рисунок 3.2 – График зависимости в рабочем диапазоне частот [1]

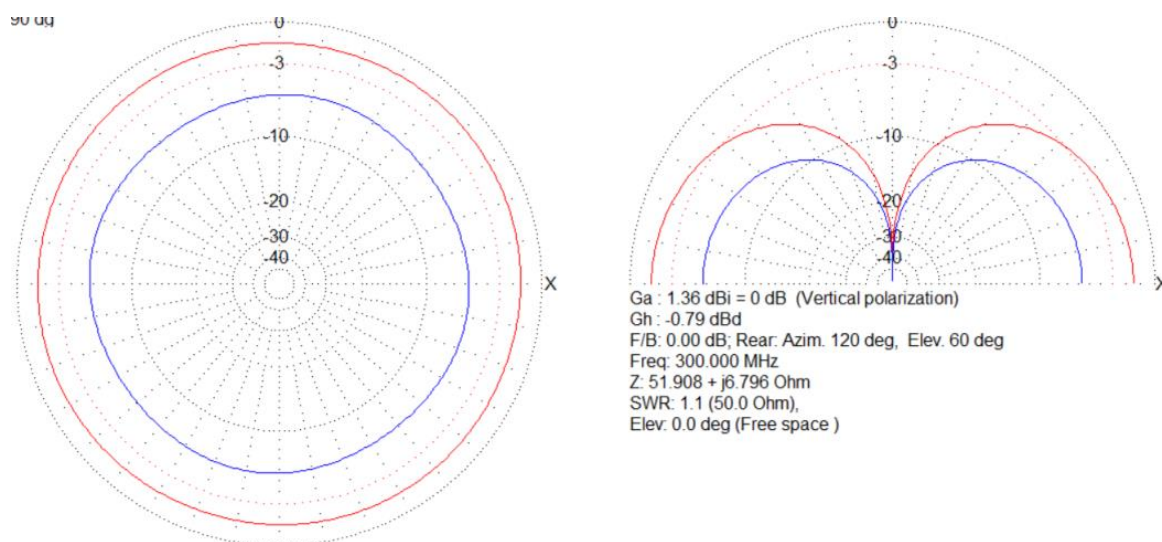


Рисунок 3.3 – Диаграмма направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости [1]

Было выявлено в результате работы, что у клеверной антенны без использования емкостной нагрузки получить коэффициент стоячей волны меньше 1,3 очень проблематично, по сравнению с рассматриваемой в данной работе антенны с нагрузкой, у которой удалось добиться коэффициент стоячей волны равным 1,03. Вследствие чего, можно сделать вывод, что с помощью данного предложения устройства у антенны можно добиться лучшего согласования, а также улучшить показатели антенны. На данное техническое

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

решение был получен патент на полезную модель «клеверная» антенна круговой поляризации с ёмкостными квазишунтами: патент RU №188892 заявителя и патентообладателя ФГБОУ ВО «МГТУ». – № 2018147024/28 от 29.04.2019 года [4].

3.2 Исследование клеверных антенн с емкостной нагрузкой

Дополнительно к этому получив определенные результаты с исследованиями клеверной антенны с емкостными квазишунтами, проводится дальнейшая работа по возможностям управления характеристиками клеверных антенн.

Следующей версией клеверной антенны круговой поляризации с ёмкостными квазишунтами, является техническое решение содержащие четыре изогнутых вибратора, имеющих линейные начальные четвертьволновые участки, расположенные перпендикулярно попарно во взаимно ортогональных плоскостях, исходящих из одной общей точки, являющейся первой клеммой питания, расположенной на линии пересечения плоскостей, отходящие продолжением от линейных участков, соизмеримые по длине с полуволной дуговые участки, расположенные в наклонных плоскостях, отходящие продолжением от дуговых участков линейные конечные четвертьволновые участки, сходящиеся кобщей точке, расположенной на линии пересечения плоскостей, но не имеющие с ней гальванического контакта, как показано на рисунке 3.2.1.

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

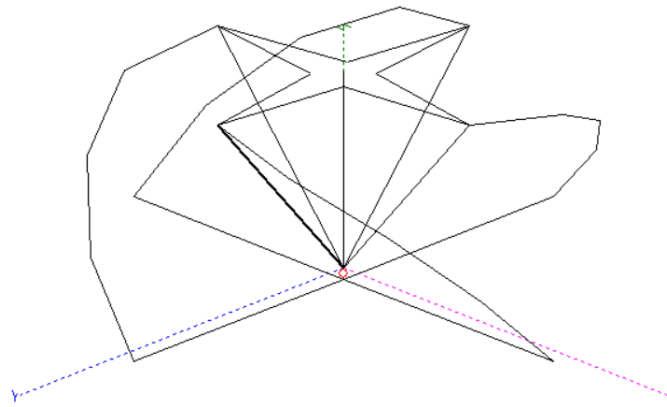


Рисунок 3.2.1 – Новая версия клеверной антенны в форме звезды

Основным моментом в данной разработке были изменена емкостная нагрузка, расположенная в горизонтальной плоскости, напоминающую форму звезды, но не имеющая общую точку пересечения, при этом соединяющиеся в общую точку с обратной стороны под углом.

Это дает возможность изменять расстояние между лепестками, что делает данную модель антенны более простой в настройке характеристик антенны и упрощение в эксплуатации.

Компьютерная модель антенны круговой поляризации была проверены в ходе электронного моделирования в программе MMANA-GAL на частоту 300 МГц. Частота 300 МГц выбрана для наглядности и простоты создания прикладных устройств. Результаты компьютерного моделирования показаны на рисунке 3.2.2, которые полностью подтверждают теоретические предположения.

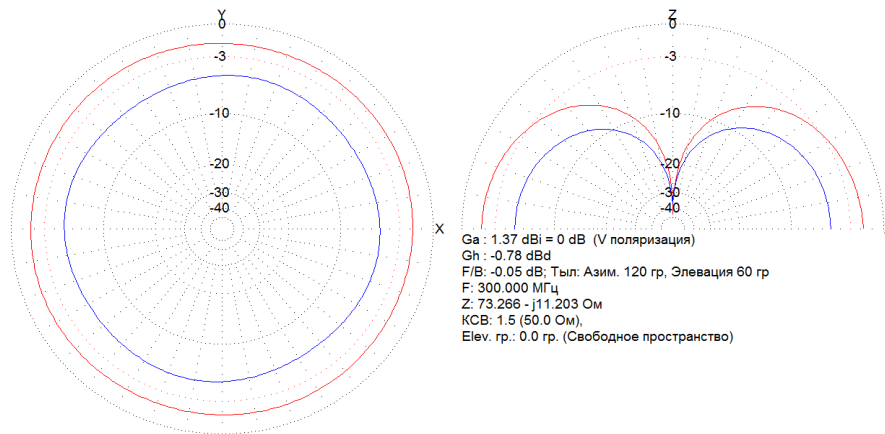


Рисунок 3.2.2 – Диаграмма направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости

Предлагаемая полезная модель перспективна по электрическим характеристикам, с точки зрения согласования.

Версию антенны в форме «звезды» можно изменить, при этом добавив несколько элементов к конструкции антенны. С помощью данного введения элементов идет повышение механической надежности антенны. Данная версия антенны промоделирована в программе для расчета MMANA-GAL, работающая в операционной системе «Windows». В данной программе была рассчитана антенна на 450 МГц, для более удобного измерения ее электрических характеристик (приложение А). Данная версия антенны представлена на рисунке 3.2.3.

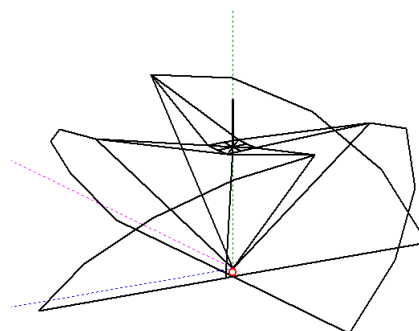


Рисунок 3.2.3 – Версия антенны «звезда»

Основой моделирования этого типа антенны, в отличие от первой версии антенны, изображенной на рисунке 3.2.1, коэффициент стоячей волны не показал большие изменения. Но при этом увеличилась механическая жёсткость антенного устройства, что является весомым аргументом при установке данной антенны на беспилотные летательные аппараты. Вертикальная и горизонтальная диаграмма направленности антенного прототипа изображена на рисунке 3.2.4.

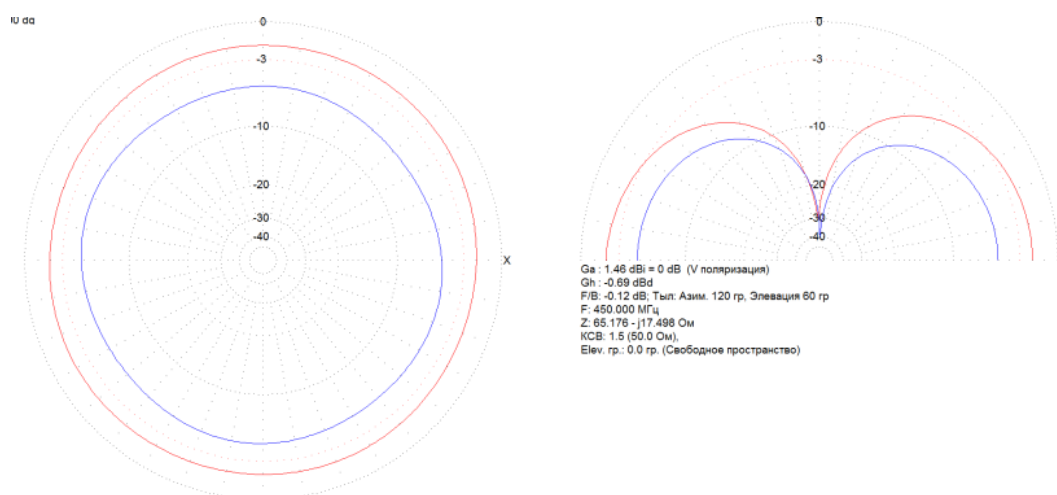


Рисунок 3.2.4 – Горизонтальная и вертикальная диаграмма направленности антенны

Еще одно главное преимущество данного типа антенны, что можно изменять характеристики, в зависимости от того в каких условиях ее разместили. Данный тип антенны более мобилен для установки на разных объектах.

4 ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАЗРАБОТАННОЙ АНТЕННЫ

4.1 Разработка действующего макета

Учитывая выше изложенное, для натурных исследований разработанного технического решения необходима сборка предложенного натурального макета антенны в лабораторных условиях, на кафедре РЭСиТРО, чтобы измерить ее характеристики и подтвердить теоретические предпосылки, которые были получены в программе для расчета антенн MMANA–GAL.

Антенное устройство передающей либо приёмной станции считается одним из тех ключевых элементов всего комплекса сооружений, что обеспечивает требуемое качество работы всей системы в комплексе. Даже наиболее совершенный передатчик или приемник не в состоянии своими высокими качествами перекрыть недостатки антенны.

Одним из важных положений при разработке действующего макета является типизация антенны в целом и ее элементов, преимущества которой не только в удешевлении и упрощении работ на стадии разработки, но и в сокращении сроков наладки антенны в пусковой период.

Преимущественное распространение в антенных устройствах получили изделия из меди и ее сплавов, что объясняется малыми электрическими потерями в ней и стойкостью при работе в атмосфере, даже загрязненной промышленными газами. Для пайки меди и стали применяют сплавы – припой.

Использовался в данной антенне универсальный припой с канифолью. Так же в антенне имеются металлические изделия с антикоррозийной обработкой – метизы: винты, гайки, шайбы.

Основные требования, предъявляющие к проводникам и кабелям из разных материалов антенного устройства:

- высокая проводимость;
- максимальные пределы прочности и текучести при растяжении;

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

– стойкость в работе при атмосферных условиях.

Наилучшей конструкцией для антенн – проводник из материала с высокой поверхностной электрической проводимостью, поскольку глубина проникания токов мала – скин–эффект.

Радиочастотные кабели должны быть морозостойкими, теплостойкими и удовлетворять требованиям в отношении нагрева. В антеннах ультракоротких волн применяют коаксиальные с полиэтиленовой и вспененной изоляцией кабели в целях обеспечения минимального затухания.

Важное значение, для надежной работы антенных устройств имеет высокое качество электрической изоляции проводов. Изоляторы подвергаются различными атмосферным воздействиям и влиянию температуры. В ряде местностей приходится считаться с пылью, а вблизи моря – с испарением морской воды, и отложения соли на поверхностях антенн.

Электроизоляционные материалы, предназначенные для работы в поле радиочастот, должны иметь малые электрические потери, потому что при быстром охлаждении атмосферной влагой перегретый изолятор может разрушиться, и малую диэлектрическую проницаемость. При повышении температуры диэлектрика потери в нем возрастают, характер нагревания становится лавинообразным, что приводит к электрическому пробое изолятора. Отсюда вытекает требование к высокой термической стойкости при быстром изменении температуры изолятора.

Токи проникают в металлы на незначительную глубину, причем тем меньшую, чем выше частота, поэтому целесообразно применение токонесущих проводников и деталей, у которых наружный слой выполнен из цветного металла.

Начальной точкой подготовки при изготовлении макета антенны является выбор материала, для основных элементов антенного устройства. Антенное устройство может быть выполнено из любого материала: медь, нержавеющая сталь, латунь, бронза, стали. Большая роль в данной антенне

уделяется механической надежности, так как постоянное изменение ее элементов положения в пространстве должно характеризоваться надежностью и стойкостью материалов, кроме этого, они должны обладать высокой поверхностной проводимостью, поэтому материал, из которого будет изготовлена антенна: медь. В виду того, что в целях глубокого исследования работы антенны в диапазоне с привязкой к безлицензионному диапазону радиочастот (430 МГц) и с учетом того, что длина плеч вибратора антенны должна быть $\lambda - 70$ см, то при изготовлении четырех плеч требуется не менее трех метров проводника для изготовления. С учетом того, что плечи антенны в пространственных размерах представляют, в принципе, трехстороннюю петлю, то для обеспечения механической прочности диаметр проводника выбирается в пределах трех миллиметров. Ввиду того, что действующий макет антенн предлагается изготовить для дальнейшего использования в качестве пособия для лабораторных работ, в том числе с возможностью изменения электрических характеристик за счет пространственного изменения конфигурации антенны, есть необходимость дополнить конструкцию антенны элементами повышенной прочности размещенным в зоне нулевого потенциала. В этих целях наиболее подходящим материалом может служить биметаллический проводник, конструктивно выполненный в виде стального стержня с омеднением диаметром – двух миллиметров, длиной в пределах 20 см. Для обеспечения крепления плеч в узле питания оптимальной конструкцией может служить реконструкция разъема СЛ–50 удлиненной конструкции с укорочением резьбовой части, а устройством механизма крепления емкостной нагрузки с возможностью перемещения вдоль осевого проводника – элементы разъема СЛ–50 с боковой резьбой для фиксирующего винта. С учетом того, что в разрабатываемом макете необходима пайка элементов с прогревом деталей большой массы целесообразно использовать питающий кабель со стеклотканевой наружной изоляцией и фторопластовой внутренней изоляцией с распайкой разъема BNC (B–C111) винт, Ni/Pt, обеспечивающий универсальную

					ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

коммутацию и измерительным устройством из состава лаборатории кафедры РЭСиТРО. Сборка макета производилась в условиях лаборатории с использованием паяльников ЭПЦН-40/220, ЭМП-200/220 и инструментария лаборатории. Собранный макет антенного устройства с проверкой ее правильности исполнения представлен на рисунке 4.1.1.



Рисунок 4.1.1 – Собранный макет антенны с емкостной нагрузкой и подтверждающими показателями работоспособности на приборе MFJ-269

Предварительная проверка работоспособности действующего макета разработанной антенны произведена с помощью измерения коэффициента стоячей волны прибором MFJ-269 в лицензированном диапазоне частот соответствующим рабочему диапазону указанного прибора. Результаты изме-

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

рений, не превышающие коэффициент стоячей волны равным 2, подтвердили прогнозируемые результаты компьютерного моделирования.

Более глубокие исследования производились на базе спектр анализатора Simple Vector Network Analyzer с применением программного обеспечения «VNA View» в диапазоне частот 50кГц – 3ГГц. Установка в собранном виде показана на рисунке 4.1.2.



Рисунок 4.1.2 – Проверка работоспособности макета на базе анализатора спектра Simple Vector Network Analyzer

Результат данной проверки представляет собой график на персональном компьютере зависимости: красный маркер – коэффициента стоячей волны и синий маркер – импеданс антенны от частоты. Все итоговые данные представлены в выпускной квалификационной работе. На изображении представлены характеристики антенного рабочего макета при собственной длине кабеля, составляющей 38 см (рисунок 4.1.3).

коэффициент стоячей волны при частоте 440 МГц увеличился и составляет примерно 1,7.

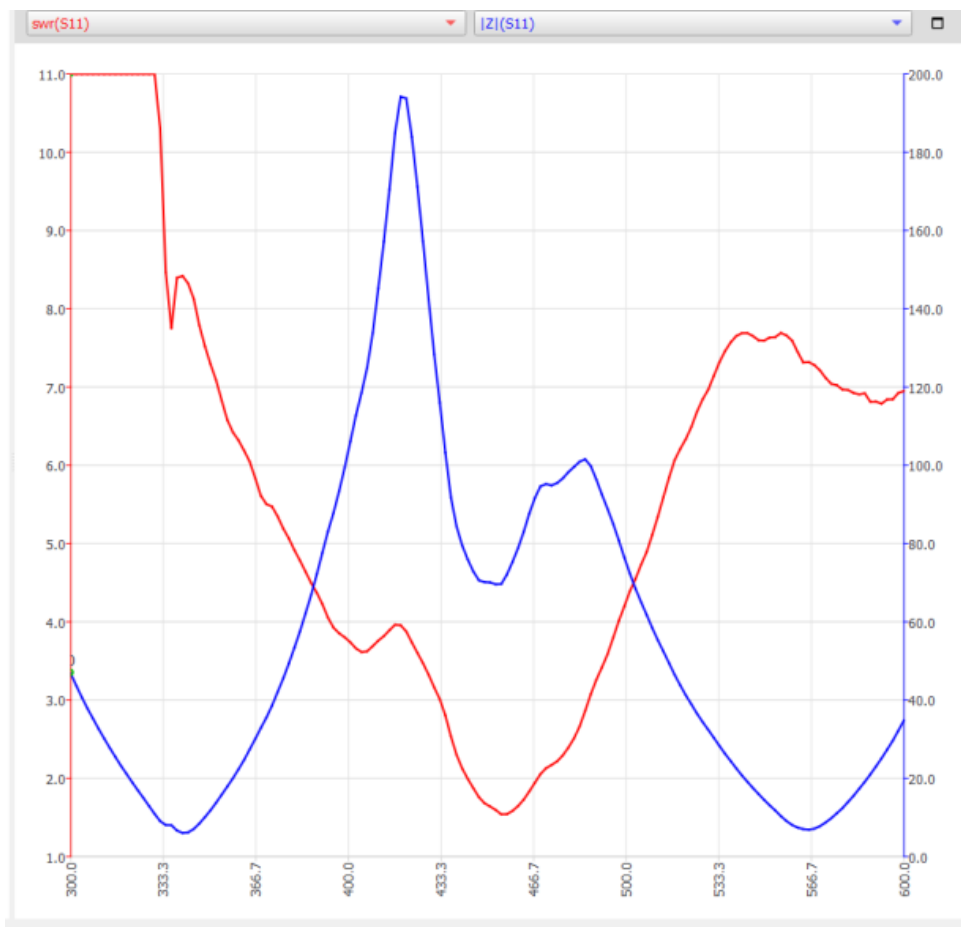


Рисунок 4.1.4 – Характеристики при длине кабеля 38 см емкостная нагрузка с укороченном размером относительно узла питания

Рисунок 4.1.5 демонстрирует итоги опыта, при котором, емкостная нагрузка антенного устройства установлена с повышенным размером высоты от точки питания. И для частоты в 440 МГц характеристика антенны, а именно коэффициент стоячей волны достигает значения 1,9, при отправных размерах кабеля.

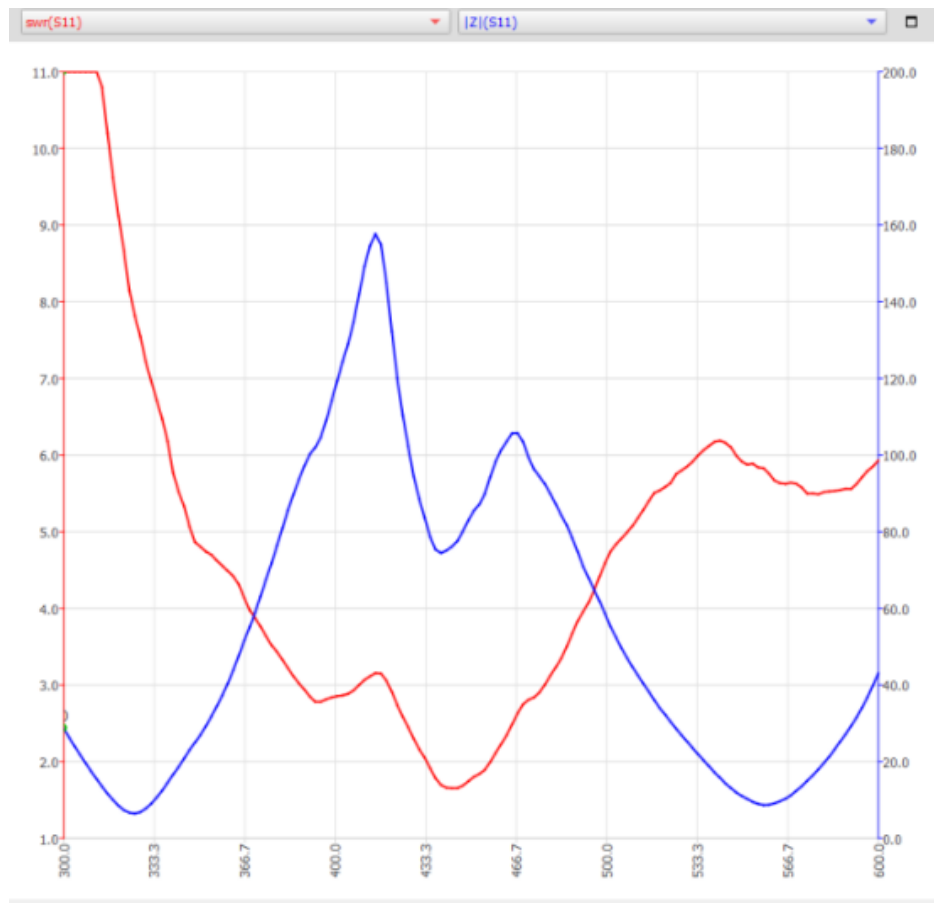


Рисунок 4.1.5 – Характеристики при длине кабеля 38 см емкостная нагрузка с повышенным размером высоты от точки питания

Дальнейшая проверка работоспособности антенны проводилась при добавлении разных длин кабелей, составляющих 101 см и 124 см. Итоговые значения 139 и 162 см соответственно. Результаты проведения эксперимента представлены на рисунке 4.1.6. и 4.1.7

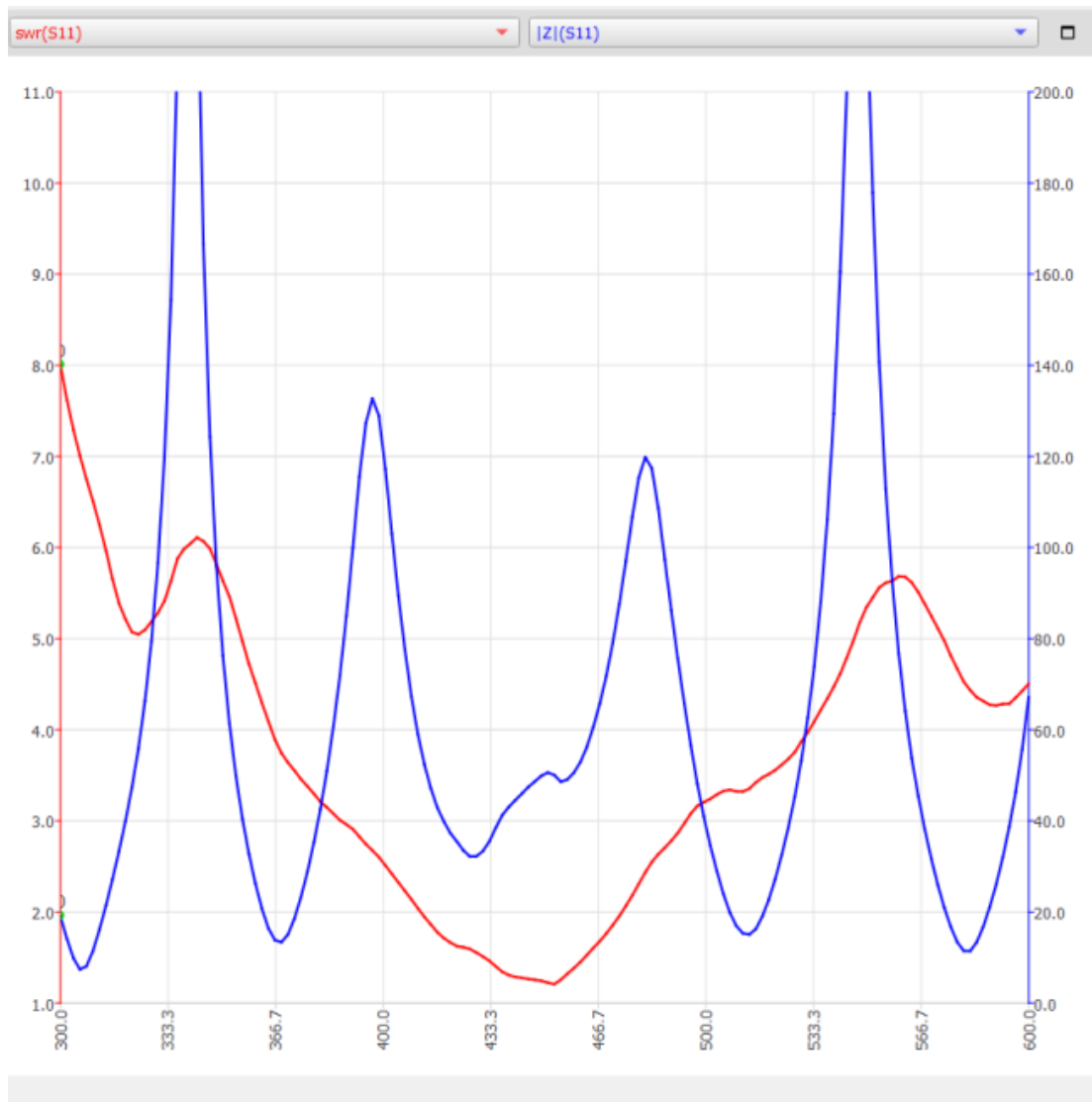


Рисунок 4.1.6 – Характеристики при длине кабеля 139 см

При размере кабеля в 139 см коэффициент не подвергся сильному изменению на частоте 440 МГц, как в предыдущих опытах, но можно заметить относительно других частот его значения уменьшилось (стало ближе к 1).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

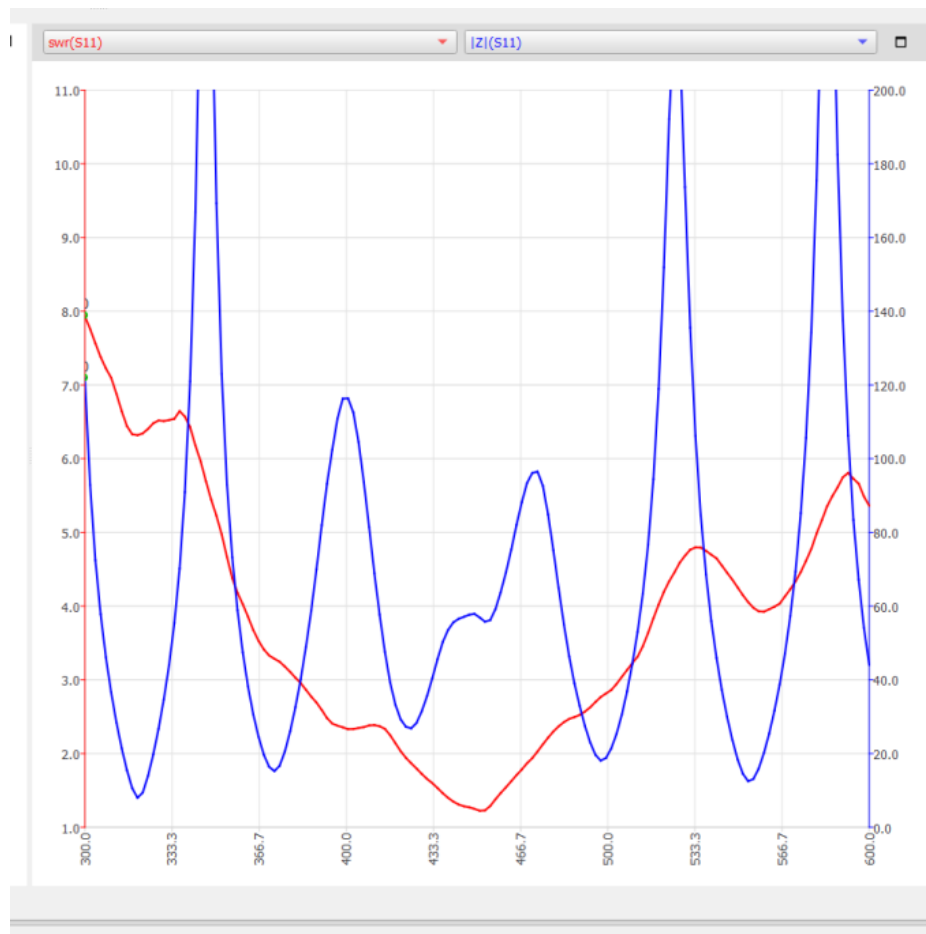


Рисунок 4.1.7 – Характеристики при длине кабеля 162 см

При разнице в проводимых измерениях в 23 см существенных изменений по результатам выводимых исследований не выявлено.

4.2 Экономическая эффективность антенны

Экономическая эффективность конструкции антенных устройств имеет большое значение в целях конкурентоспособности при массовом производстве и поэтому учитывается при проектировании антенн. При определении стоимости вариантов учитывают не только стоимость комплектующих, но и стоимость работ при используемых технологиях сборки. В выпускной квалификационной работе клеверная антенна с емкостной нагрузкой предлагается к размещению на беспилотных летательных аппаратах, тем самым есть

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

необходимость соизмерения технологий, которые используются в авиационной технике.

Комплексный анализ с привлечением элементов экономики и учет специфических условий использования могут привести к изменениям от ранее намеченного варианта антенного устройства. При таком анализе учитывают так же условия обслуживания, например, при установке антенны на наземных базовых станциях, потому что труднодоступный осмотр и работы по настройке или переключению, например, в условиях часто повторяющейся снежной пурги на Севере или в горной местности, могут оказать решающее влияние на окончательный выбор варианта антенного устройства.

Клеверные антенны на сегодняшний день являются востребованы, поэтому можно встретить множество производителей и фирм данных антенн. Приведем несколько фирменных антенн для сравнения их характеристик с характеристиками новой версией клеверной антенны с резонатором.

Комплект клеверных антенн SpiroNET Immersion RC – одни из самых популярных в мире антенн в диапазоне 5.8 ГГц для FPV полетов. Антенны SpiroNET круговой поляризации – отличный вариант взамен штатных штывевых антенн линейной поляризации.

Основные характеристики

- коэффициент усиления: 0.95dBi;
- диаграмма направленности: 360 градусов;
- стоимость: 2990 рублей.

Антенна SpiroNET ImmersionRC имеет диаграмму направленности 360 градусов, но низкий показатель коэффициента усиления.

Эффективность клеверных антенн проявляется за счет стабильного сигнала при разных пространственных положениях передающей и принимающей антенн (рисунок 4.2.1).

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44



Рисунок 4.2.1 – Комплект клеверных антенн SpiroNET ImmersionRC

Клеверная антенна с емкостной нагрузкой не уступает фирменным антеннам по показателям диаграммы направленности и по коэффициенту усиления антенны. Изготовление антенны в процессе работы представлено на рисунке 4.2.3.



Рисунок 4.2.3 – Процесс изготовления клеверной антенны с емкостной нагрузкой

Наглядно видно, что проблему с низкой надёжностью скелетных конструкций в первом случае решили, поместив антенну в чехол, во втором слу-

чае проблема не решена. Так как фирменные антенны являются классическими клеверными антеннами, то помехоустойчивость у них низкая из-за сложности согласования антенны с фидером, что в антенне с резонатором решена путем добавления нового элемента-резонатора. В связи с этим можно сделать вывод что клеверная антенна с резонатором является экономически эффективной и конкурентоспособной моделью. Что подтверждает реализацию компетенции ПК–9.

Экономическая часть в выпускной квалификационной работе было проведено экономическое обоснование разработки клеверной антенны с ёмкостной нагрузкой найдена ее себестоимость. В результате анализа было установлено, что устройство имеет более высокий технический уровень по сравнению с аналогом, а также снизились расходы на эксплуатацию, что говорит о конкурентоспособности проектируемой клеверной антенны.

4.3 Техника безопасности при работе с антеннами

Важно неуклонное соблюдение техник безопасности при производстве антенных систем и проведении профилактических мероприятий по обслуживанию антенных устройств.

Многолетняя практика людей дает основания утверждать, что любая работа опасна. Это заявление легло в основу основного принципа безопасности жизни: любая деятельность может быть опасной.

Наличие любого риска может привести к нарушению нормального состояния человека, нанести вред его здоровью. Следовательно, под рисками следует понимать условия, процессы, вещества, которые могут прямо или косвенно причинить вред здоровью человека в конкретной ситуации, то есть они губительно действуют на организм человека.

Возможные причины этого явления, следующие:

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

- ранение рук о выступающие детали при техническом обслуживании антенны;
- термический ожог при ремонте с применением пайки;
- ушибы от неправильного использования инструмента;
- отказ облучателя;
- сбой рефлектора;
- отсутствие напряжения питания.

Неисправность облучателя может быть вызвана несоблюдением правил эксплуатации, недостатками при изготовлении электрооборудования, ошибками при установке.

Техническое обслуживание антенных устройств беспилотнолетательных аппаратов является неотъемлемой процедурой эксплуатации в ходе предполётной подготовки и ремонтно-восстановительных работ после применения беспилотника в сложных условиях использования. В свою очередь производится плановое техническое обслуживание и не исключается внеочередное техническое обслуживание при отказах взаимодействующих комплектующих устройств.

Ремонт электрических цепей антенно–фидерного высокочастотного тракта, в котором антенна является основой взаимодействия со средой как при приёме, так и при изучении электромагнитных волн, процесс пайки может быть применён на всех её участках. При этом не исключается использование как высокотемпературных припоев, так и паяльников с напряжениями питания 12, 24, 220 вольт или газовых паяльных ламп.

Основные инструменты при ремонтно–восстановительных и регламентных работах могут быть использованы, кроме различных паяльников, отвёртки, ключи, плоскозубцы, молотки и другие инструменты, при неправильном использовании которых возможны ушибы, порезы, защемления и сдавливания.

Рассмотрим еще один потенциальный случай электрического сбоя – производственный брак.

Факторы, которые могут привести к образованию дефектов: технические неполадки или неисправности бывшего в употреблении оборудования, плохой материал и пайка. Их тоже можно считать натуральными.

Факторы, которые могут вызвать дефекты сборки: эффекты, допуски на стыки и несколько других возможных состояний.

Анализируя неудачу медитации, можно сказать, что факторы, которые могут привести к этому событию, те же, что и причины нарушения питания.

Отсутствие напряжения питания не рассматривается, так как это может быть вызвано множеством факторов, для анализа которых потребуется информация о конкретной области антенной области.

Причины отказа, рассмотренные в предыдущем абзаце, могут определять меры по повышению экологичности и обеспечению безопасности антенного оборудования.

Следующие факторы могут быть первыми случаями нарушений техники безопасности при эксплуатации антенного оборудования: несоблюдение температурного режима, повышенная влажность воздуха, повышенное напряжение питания, плохой материал, удары, перегибы, сильный нагрев.

Ниже приведены шаги по повышению надежности и безопасности антенного оборудования.

Требуется:

- провести краткие беседы с операторами оборудования;
- наличие квалифицированного персонала;
- расположение антенны в погодных условиях, подходящих для антенны, которая была спроектирована и отремонтирована;
- при установке антенн избегайте ударов, перегибов, трения и других факторов, способствующих выходу антенны из строя;
- контакт с другими устройствами, кроме функции антенны.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это непредсказуемое, внезапное внешнее явление, характеризующееся серьезными нарушениями установленного процесса или явления и оказывающее глубокое влияние на жизнь людей, экономические показатели, социальную сферу и окружающую среду.

Часто возникает пожар при проверке и настройке антенны. Пожар – это неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся материальным ущербом и опасностью для жизни людей. Вторыми последствиями пожара могут быть взрывы и утечки токсичных веществ или загрязняющих веществ в окружающую среду. Использование воды для тушения пожаров может нанести серьезный ущерб зданиям и хранящимся в ней предметам [6].

Лаборатория радиоустановок, для которой была разработана антенна, относится к блоку Д, поскольку в этот блок входят производства, связанные с переработкой негорючих материалов и оборудования в холодных условиях, а также вспомогательное оборудование и производство 1 и 2 степени огнестойкости.

Возможная причина возгорания – электричество, поэтому как в комнате столько электроприборов. К причинам электрического возгорания относятся: короткое замыкание, чрезмерная нагрузка, высокое контактное сопротивление, искрение и искрение, статическое электричество. Ток короткого замыкания достигает высоких уровней, а эффекты, связанные с температурой и мощностью, могут вызвать повреждение электрооборудования, возгорание. Правильный выбор проводов (выбор сечения проводов с указанием тока, типа провода и типа изоляции), электронное оборудование, оборудования, а также плановые проверки, ремонт и испытания могут предотвратить кратковременное возникновение. Для быстрого выключения при коротком замыкании используются предохранители и автоматические выключатели.

Причина пожара может стать халатное отношение специалиста к правилам техники безопасности, а также курение в непредназначенных для этого местах.

Пожары требуют принятия экстренных мер для их последствий и, в первую очередь, проведения спасательных и других неотложных операций. Чтобы успешно решить эти проблемы, нужно знать основные принципы безопасности:

- обязательное соблюдение правил пожарной безопасности;
- заблаговременная подготовка и осуществление защитных мероприятий по повышению пожарной безопасности;
- дифференцированный подход к определению, характеру, сфере охвата и сроков осуществления этих видов деятельности, характер и масштабы защитных мер устанавливаться в зависимости от типа источников опасных и вредных факторов, а также от местных условий;
- всеобъемлющий характер защитных мер для безопасной рабочей среды.

Основными огнегасительными веществами являются: вода, водяной пар, инертные газы, диоксид углерода, пена, галоидированные углеводороды, порошковые составы, песок и покрывала [7].

Основными огнегасительными средствами являются огнетушители, песок и покрывала. До сих пор используются химпенные огнетушители ОХП-10 и ОХПВ-10. В производственных условиях также используются воздушно-пенные огнетушители марок ОВП-5, ОВП-10, ОВП-100, ОВПУ-250. Для тушения пожара электроустановки используются типы: ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8, ОУ-25, ОУ-80, ОУ-400, а также углекислотно-бромовые огнетушители ОУБ-3 и ОУБ-7 и порошковые огнетушители: ОПС-6, ОПС-10 и ОПС-100.

Способность быстро ликвидировать возникший пожар во многом зависит от своевременного уведомления о чрезвычайной ситуации. Общим средством уведомления является телефонная сеть, к которой подключена приемная станция, принимающая сигналы от детекторов и передающей их пожарной бригаде. Детекторы могут быть ручными и автоматическими (дым, тепло, свет).

Чаще всего используются комбинированные автоматические детекторы, реагирующие на тепло и дым. Находят применение и ультразвуковые детекторы, реагирующие на изменение ультразвукового поля при пожаре.

Основными мерами по предотвращению пожаров, которые должны выполнять предприятия: обеспечение полного и своевременного выполнения правил и требований пожарной безопасности; строительных норм при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов, находящихся по его юрисдикции; организовать на предприятии пожарную охрану, добровольную пожарную команду и пожарно-техническую комиссию; регулирование поощрения в содержании пожарной охраны предприятия, закупку средств пожаротушения; назначать ответственных за противопожарное предупреждение в цехах, лабораториях, производственных участках, базах, складах и других производственных зданиях предприятия.

Защита среды, теперь ставшей одной из самых важных международных проблем нашего времени [8].

Использование ресурсов окружающей среды Земли и окружающей среды в интересах настоящих и будущих людей.

Выделяются в вентиляционном воздухе на участках пайки и лужения токсичные газы (монооксид углерода, фторид водорода), аэрозоли (свинец и его соединения)

Вода используется для приготовления технологических растворов, применяемых при травлении материалов и деталей и покрытия, а так же для промывки деталей и ванн после сброса отходов и обработки помещений. Основные примеси сточных вод – пыль, металлическая окалина, эмульсии, щелочи и кислоты, тяжелые металлы и циан. Все эти, попадая внутрь человека, вызывают нарушение его здоровья. Так, оксид углерода система, попадая через дыхательную систему в организм, действует на нервную и сердечно-сосудистую систему, вызывая удушье. Под воздействием свинца

нарушается синтез гемоглобина, работа мочеполовых органов, нервной системы.

Можно сделать вывод, что в производстве обязательна регулярная очистка как воздуха, так и сточных вод.

Радикальное решение проблемы защиты окружающей среды от негативного воздействия промышленных объектов возможно при повсеместном использовании безотходных и малоотходных технологий. Использование очистных устройств и сооружений не позволяет локализовать токсичные выбросы, а использование более современных систем очистки всегда представляет собой экспоненциальную стоимость процесса очистки даже тех случаев, когда это технически возможно.

Поэтому оптимальным для процесса изготовления разработанной антенны можно считать:

- для очистки воздуха – использование сухого пылеуловителя (например, электростатического электрофильтра), который считается более совершенным, чем другие и, кроме того, позволяет вернуть собранную пыль в производство;
- обработка сточных вод следует проводить отстаиванием, фильтрацией, а также использованием биофильтров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основой в результате выполнения выпускной квалификационной работы «разработка клеверной антенны с емкостной нагрузкой» направленной на создание перспективных антенных устройств, разработано прикладное направление развития клеверных антенн с подтверждением созданным действующим макетом, предварительно рассчитанным с применением компьютерного моделирования, образцами версий конкурентоспособных инновационных технических решений, с проверками на базе работоспособного действующего макета.

Предварительно проанализировав патентные источники и техническую литературу, интернет-ресурсы, по данной тематике, и базируясь на технических решениях, разработанных на кафедре РЭСиТРО МГТУ в предыдущие годы, выявлено новое направление совершенствования клеверных антенн с уже запатентованным техническим решением и исследуемом патентоспособным техническим решением, на базе анализа с применением емкостных нагрузок.

Цель, поставленная в выпускной квалификационной работе, реализована путем анализа существующих и инновационных клеверных антенн, с предложением новаций по улучшению эксплуатационных характеристик и электрических параметров. Клеверная антенна круговой поляризации с емкостными нагрузкой ранее запатентованная от МГТУ, обеспечивает повышение надежности и эксплуатационных возможностей применения такого типа антенн, но и является перспективной для дальнейшего совершенствования. Базируясь на теоретических предпосылках и возможностях компьютерного моделирования при исследовании работы клеверных антенн, по изменению их электрических схем, были выработаны инновационные технические решения по улучшению характеристики этого типа антенн. По каждой версии были проанализированы десятки

					<i>ВКР.ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

компьютерных моделей, что в целях сокращения объема представления материала и упрощения подходов рассмотрения в предложенной работе упущены.

Был получен патент на полезную модель от ФИПСa RU №188892 от 29.04.2019 при регистрации продуктов интеллектуальной собственности от Мурманского государственного технического университета. По результатам исследований подготовлены заявочные материалы на новое патентование крайней, упомянутой по тексту научной работы, клеверной антенны с разнесенными на расстояние проводниками, расположенными в горизонтальной плоскости.

Получены следующие профессиональные компетенции: ПК–1, ПК–2, ПК–3, ПК–4, ПК–5, ПК–6, ПК–7, ПК–24, ПК–25, ПК–26, ПК–27.

					<i>ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 188892 Российская Федерация. «Клеверная» антенна круговой поляризации с ёмкостными квазишунтами : № 2018147024/28 : заявл. 26.12.18 : опубл. 29.04.19 / Милкин В. И., Шульженко А. Е., Анисимова К. А., Собянина В. Р.; заявитель Мур. гос. техн. ун-т. – 10 с.
2. Пат. 171817 Российская Федерация. Антенна круговой поляризации «клевер» с рамочными переизлучателями : № 201710282/28 : заявл. 27.01.17 : опубл. 26.06.17 / Милкин В. И., Шульженко А. Е., Шубина Е. Г., Татусяк М. С. ; заявитель Мур. гос. техн. ун-т. – 12 с.
3. Пат. 190823 Российская Федерация. Антенна круговой поляризации квазишунтовой «клевер» с резонаторным питанием : № 2019111617 : заявл. 16.04.19 : опубл. 15.07.19 / Милкин В. И., Шульженко А. Е., Татусяк М. С., Щепина Е. А., Ющенко И. С. ; заявитель Мур. гос. техн. ун-т. – 7 с.
4. Пат. 166256 Российская Федерация. Антенна круговой поляризации квазишунтовой «клевер» : № 2016114836/28 : заявл. 15.04.16 : опубл. 20.11.16 / Милкин В. И., Калитёнков Н. В., Быченков П. А., Шульженко А. Е. ; заявитель Мур. гос. техн. ун-т. – 13 с.
5. Пат. 2659854 Российская Федерация. Этажерочная антенна круговой поляризации : № 2017111532/28 : заявл. 05.04.17 : опубл. 04.07.18 / Милкин В. И., Шульженко А. Е., Быченков П. А., Полежаев В. С. ; заявитель Мур. гос. техн. ун-т. – 10 с.
6. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования : национальный стандарт Рос. Федерации : дата введ. 1991–09–01 / разработан стандартов – Москва : 1991. – 85 с.
7. ГОСТ 12.4,306–2016. Система стандартов безопасности труда (ССБТ): дата введ. 2017–09–01 / разработан закрытым акционерным обществом «ПЛ ЭНЕРГОФОРМ» – Москва : Синдартинформ, 2019. – 12 с.

					<i>ВКР.ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

8. Белов, С. В. Охрана окружающей среды : учебник для техн. спец. вузов / С. В. Белов ; Москва : Высшая школа, 1991. – 319 с.
9. Гончаренко, И. В. Антенны КВ и УКВ. Часть 1. Компьютерное моделирование MMANA / И. В. Гончаренко ; – Москва : РадиоСофт, Радио, 2004. – 128 с.
10. Дрaбкин, А. Л. Антенно-фидерные устройства / А. Л. Дрaбкин, В. Л. Зузенко, А. Г. Кислов. – М. : Совет. радио, 1974. – 536 с.
11. Ерохин, Г. А. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев ; под ред. Г. А. Ерохина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 492 с.
12. Зузуенко, В. А. Расчет и проектирование антенн : учеб. пособие / В. А. Зузенко, А. Г. Кислов, Н. Я. Цыган. – Москва : ЛВИКА, 1969. – 576 с.
13. Лавров, А. С., Антенно – фидерные устройства. учеб. пособие для вузов / А. С. Лавров, Г. Б. Резников. – Москва : Советское радио, 1974. – 368 с.
14. Назаров, В.И. Все об антеннах : справочник / В.И. Назаров, В.И. Рыженко. – Москва : Оникс, 2008. – 80 с.
15. Непомнящий, А. В. Безопасность жизнедеятельности, Часть 3 : чрезвычайные ситуации. / А. В. Непомнящий, Г.П. Шилякина. – Таганрог : ТРТУ, 1997. – 384 с.
16. Основы законодательства Российской Федерации об охране труда (в ред. федерального закона от 18.07.95 N 109-ФЗ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2400/. – Загл. с экрана. – Данные соответствуют 2020 г. (дата обращения 25.10.2020).
17. Павлов, С. П. Охрана труда в радио – и электронной промышленности : учеб. для техникумов / С. П. Павлов ; – Москва : Радио и связь, 1985. – 200 с.
18. Петров, Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 280 с.

19. Ротхаммель, К. Антенны / К. Ротхаммель, Ф. Кришке. – Минск : ОМО «Наш город», 2001. – Т. 1. – 416 с.
20. Харин, А. Ф. Антенные устройства / А. Ф. Харин, С. И. Старченко, В. А. Дикарев. – Тамбов : ТВАИИ, 1999. – Ч. I. – 92 с.

					<i>ВКР.ТРОс15о.250503.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Закладка геометрии антенны в программе MMANA-GAL

№	X1, м	Y1, м	Z1, м	X2, м	Y2, м	Z2, м	R, мм
1	0	0	-0.0667	0.1667	0	0.03964	1.5
2	0	0	-0.0667	0.1667	0.0067	0.03965	1.5
3	0	0	-0.0667	0.1667	0	0.03966	1.5
4	0	0	-0.0667	0.1667	0.0067	0.03967	1.5
5	0	0	-0.0667	0.1667	0	0.03968	1.5
6	0	0	-0.0667	0.1667	0.0067	0.03969	1.5
7	0	0	-0.0667	0.1667	0	0.03970	1.5
8	0	0	-0.0667	0.1667	0,0067	0.03971	1.5
9	0	0	-0.0667	0.1667	0	0.03972	1.5
10	-0.167	0	-0.0667	0.1667	0,0067	0.03973	1.5
11	0	-0,167	-0.00667	0.04584	-0.15526	0.03964	1.5
12	0.167	0.03972	-0.00668	0.11785	0.0485	0.03965	1.5
13	-0.11	0.03973	-0.00669	-0.1178	-0.1	0.11785	1.5
14	0.08	0.03974	-0.00670	-0.1178	-0.0133	0.11786	1.5
15	0.119	0.03975	-0.00671	-0.1178	-0,0133	0.11787	1.5
16	0.08	0.03976	0.07973	-0.1178	-0.0133	0.11788	1.5
17	0.11951	0.03977	0.07974	-0.1178	-0.01333	0.11789	1.5
18	-0.084	0.03978	0.07975	-0.0458	-0.08449	0.11790	1.5
19	-0.04	0.03979	0.07976	-0.0458	-0.08449	0.11791	1.5
20	-0.1098	0.03980	0.07977	-0.0458	-0.01333	0.11792	1.5

Продолжение таблицы 1

№	X1, м	Y1, м	Z1, м	X2, м	Y2, м	Z2, м	R, мм
21	0.0458	0.03981	0.07978	-0.0458	-0.08449	0.11793	1.5
22	-0.06	0.03982	0.07979	-0.0458	-0.08449	0.11794	1.5
23	0.10983	0.03983	0.10727	-0.0458	-0.08449	0.11795	1.5
24	0.04584	0.03984	0.03964	0.06487	0.06487	0.11796	1.5
25	0	0.03985	0.11785	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
26	-0.11	0.03986	0.11785	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
27	0	0.03987	-0.11785	0	-0.01333	0.0933	1.5
28	0	0.03988	0.11785	0	0	0.0933	1.5
29	0.0133	0.03989	0.11786	0.06487	-0.01333	-0.0067	1.5
30	0.0133	0.03990	0.11787	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
31	0	0.03991	0.11788	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
32	0.117	0.03992	0.11789	0.06487	-0.01333	0.0933	1.5
33	0	0.03993	0.11790	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
34	-0.11	0.03989	-0.11785	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
35	-0.0133	0.03990	0.11785	0.06487	0.06487	0.0933	1.5
36	0	0.03996	0.11786	0	0	-0.0067	1.5
37	0	0.03997	0.11787	0	0	0.0933	1.5
38	0	0.03998	0.11788	0	0	0.0933	1.5
39	0	0.03999	0.11789	0	0	0.0933	1.5
40	-0.01	0.04000	0.09333	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5
41	0.0133	0.04001	0.09334	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5
42	-0.133	0.04002	0.09335	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ВКР. ТРОс15о.250503.ПЗ

Лист

59

Окончание таблицы 1

№	X1, м	Y1, м	Z1, м	X2, м	Y2, м	Z2, м	R, мм
43	-0.01	0.04003	0.09336	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5
44	-0.11	0.01333	0.09337	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5
45	-0.1167	0.01333	-0.01333	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5
46	0.0133	0.01333	0.09333	0.01333	-0.01333	0.0933	1.5
47	0	0.11785	0.09334	0	0.09333	0.0933	1.5
48	0	0.11785	0.09335	0	0.09334	0.0933	1.5
49	0	0.11785	0.09336	0	0.09335	0.0933	1.5
50	0	0.11785	0.09337	0	0.09336	0.0933	1.5
51	0	0.11785	0.09338	0	0.09337	0.0933	1.5
52	0	0	0.09339	0	0	0.155	1.5