

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Факультет информационных
технологий и электроники

Кафедра
«Информационная безопасность
систем и технологий»

Специальность 10.05.03 –

Информационная безопасность
автоматизированных систем

Специализация –

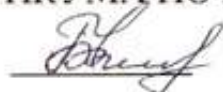
Защищённые автоматизированные
системы управления

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПЭМИН ОТ СВТ

Студент



Большухин Артем Дмитриевич

Руководитель к.т.н., доцент



Иванов А.П.

Нормоконтролёр



Иванов А.П.

Рецензент ведущий инженер АО «ПНИЭИ»



Имамутдинов А.И.

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 16.06.23 № 10)

Заведующий кафедрой



С.Л. Зефи́ров

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК
от 28.06.23 № 3)

Секретарь ГЭК



А.П. Иванов

Пенза 2023

Обозначения и сокращения

ПЭМИН	– побочные электромагнитные излучения и наводки
СВТ	– средство вычислительной техники
ТЗИ	– техническая защита информации
СИ	– специальные исследования
КПД	– коэффициент полезного действия
ДН	– диаграмма направленности
КНД	– коэффициент направленного действия
КУ	– коэффициент усиления
ПО	– программное обеспечение
ОС	– операционная система

Оглавление

Введение.....	5
1 Разработка структуры программно-аппаратного комплекса.....	8
2 Выбор компонентов программно-аппаратного комплекса.....	12
2.1 Измерительная система	12
2.2 Анализаторы спектра.....	12
2.3 Измерительные антенны	13
3 Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения специальных исследований.....	17
3.1 Разработка измерительной дипольной антенны	17
3.1.1 Разработка вибраторов для измерительной дипольной антенны.....	17
3.1.2 Разработка предусилителя для измерительной дипольной антенны.....	22
3.2 Разработка программы расчета требуемого радиуса контролируемой зоны R_2	28
4 Измерение параметров дипольной антенны.....	38
4.1 Основные параметры измерительных антенн.....	38
4.2 Измерение характеристик антенного усилителя	39
4.2 Измерение характеристик измерительной антенны.....	48
4.2.1 Поиск максимума и минимума рабочего частотного диапазона разработанной измерительной антенны	48
4.2.2 Определение коэффициента калибровки разработанной измерительной антенны.....	51
4.2.3 Определение диаграммы направленности разработанной измерительной антенны.....	55

5	Проведение экспериментальных исследований с использованием программно-аппаратного комплекса.....	58
6	Вредные психофизиологические факторы, влияющие на психоэмоциональное состояние специалиста по защите информации. Методы и средства физической культуры, снижающие их воздействие.....	65
	Заключение	70
	Список использованных источников	72
	Приложение А. Обязательное. Алгоритм работы функции «Рассчитать»	75
	Приложение Б. Обязательное. Алгоритм работы функции «Очистить».....	79
	Приложение В. Обязательное. Текст основного файла программы Diplom.cpp.....	81
	Приложение Г. Обязательное. Текст заголовочного файла программы Diplom.h.....	83
	Приложение Д. Обязательное. Данные для определения диаграммы направленности	108
	Приложение Е. Обязательное. Результаты измерения ПЭМИН от реального СВТ	111

Введение

В современном мире повсеместно используются технические средства, на которых хранятся и обрабатывается различная информация. К одной из основных угроз безопасности информации ограниченного доступа относится утечка информации по техническим каналам, под которой наиболее часто понимается неконтролируемое распространение информативного сигнала от его источника через физическую среду до технического средства, осуществляющего перехват информации. Во время ввода и вывода информации при использовании средств вычислительной техники становится возможным перехват вводимой информации за счет возникающих побочных электромагнитных излучений. Вследствие этого сигналы ПЭМИН от работающей аппаратуры могут стать целью противника.

Утечка информации по естественным техническим каналам является одной из главных направлений несанкционированного получения доступа к защищаемым данным. Исходя из этого, наличие фундаментальных знаний по выявлению и блокированию технических каналов утечки информации наиболее актуально на сегодняшний момент.

Подготовка специалистов в области технической защиты информации (ТЗИ) включает в себя получение как теоретических знаний в разнообразных областях физики, так и практических, и прикладных. К одному из направлений подготовки относится специальные исследования, в которых проводится оценка защищенности объектов информатизации от утечки информации по каналам ПЭМИН.

В данном направлении подготовки, для получения будущими специалистами практических и прикладных навыков, необходим лабораторный стенд, который будет способствовать получению навыков по работе с измерительными приборами и знаний о методике проведения специальных исследований ПЭМИН.

Оборудование для исследования ПЭМИН является дорогостоящим, но для подготовки специалистов, в рамках лабораторного практикума, достаточно использовать аналоги. Они не обладают характеристиками, которые нужны для проведения реальных исследований в соответствии с нормативно-методическими документами, но достаточны для получения практических навыков измерения ПЭМИН.

Таким образом, изучение методики оценки защищенности объектов информатизации от утечки информации по каналам ПЭМИН является актуальной, а создаваемый лабораторный стенд, включающий в себя программно-аппаратный комплекс, способствует получению практических навыков по работе с измерительными приборами и знаний о методике проведения специальных исследований ПЭМИН.

В первом разделе выпускной квалификационной работы была выполнена разработка структуры программно-аппаратного комплекса.

Во втором разделе выпускной квалификационной работы был выполнен выбор компонентов программно-аппаратного комплекса.

В третьем разделе выпускной квалификационной работы была выполнена разработка программно-аппаратного комплекса для проведения лабораторного практикума по измерению ПЭМИН от СВТ.

В четвертом разделе выпускной квалификационной работы были рассчитаны характеристики разработанной измерительной антенны, входящей в программно-аппаратный комплекс для проведения лабораторного практикума по измерению ПЭМИН от СВТ.

В пятом разделе выпускной квалификационной работы были проведены экспериментальные исследования с использованием программно-аппаратного комплекса.

В шестом разделе выпускной квалификационной работы описаны вредные психофизиологические факторы, влияющие на психоэмоциональное состояние специалиста по защите информации. Определены методы и средства физической культуры, снижающие их воздействие, как

рекомендации к применению в организации мер по регулированию психофизиологического состояния специалиста.

1 Разработка структуры программно-аппаратного комплекса

Измерения напряжённости электромагнитного поля являются одним из основных, базовых видов измерения в проблематике ТЗИ, поэтому освоение методологии измерений является крайне важным этапом обучения специалистов в рамках дисциплин, связанных со специальными исследованиями.

При проведении измерений электромагнитного поля есть некоторые нюансы, которые необходимо учитывать, например, значительное количество измерений выполняется на расстоянии от источника поля меньшем, чем 6λ (λ – длина волны). Следовательно, в «промежуточной» или «ближней» зонах. В этих зонах коэффициент пропорциональности между напряжённостью электрического и магнитного полей не равен общеизвестной величине в 377 Ом. Чем ближе к источнику, тем эта величина больше. Поэтому каждая из составляющих поля измеряется отдельно, своим первичным преобразователем – антенной (электрической или магнитной).

Также при проведении измерений есть специальные требования и условия измерений.

Во-первых, существует общее ограничение, что нельзя размещать антенну ближе к источнику, чем её габарит. Вкупе с существующим для большинства случаев однозначным указанием измерять на расстоянии 1 м это ограничение превращается в ограничение размеров антенны. То есть диаметр рамки (для магнитной антенны) или расстояние между концами вибраторов (для симметричной дипольной антенны) не должны превышать 1 м. Для каких-то моделей антенн это выполняется, для каких-то нет. Данные ограничения действуют для измерения сигналов. На режим поиска, выявления сигналов ограничений не существует.

Во-вторых, ни в одном документе нет ни слова об учёте степени асимметрии антенн. Симметричный диполь и «рамка» – принципиально преобразователи с симметричным выходом. А входы всех средств измерения

– несимметричные (коаксиальные). Соответственно, в конструкции всех антенн (и активных и пассивных) входят согласующие схемы. Однако измеряемые поля действуют не только на диполи, но и на кабель к приёмнику. В результате этого, и ещё взаимодействия через паразитные ёмкости самих диполей с кабелем, идеальная симметрия нарушается. Асимметрия в пределах от 1 до 2 дБ считается нормой. При асимметрии в пределах от 3 до 6 дБ уже надо каждое измерение делать дважды, при разной ориентации антенны, и брать в расчёт среднеквадратическое значение в абсолютных единицах. Если асимметрия больше 6 дБ, то надо разбираться, возможно, что антенный кабель разложен неудачно, либо приёмник заземлён неправильно, либо антенна неисправна.

Основной смысл проведения измерений – зафиксировать максимум возможного паразитного излучения, содержащего информационную составляющую. Рассчитать защищённость по возможно наихудшему случаю, «с запасом». Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс поможет освоить некоторые аспекты данной деятельности, например, студенты смогут освоить процедуру поиска максимума.

Рассмотрим процедуру поиска максимума, которая может быть использована в рамках лабораторного практикума. Когда диапазон частот поиска сигналов невелик и самих сигналов немного, тогда проще всё сделать вручную, если диапазон поиска измеряется сотнями МГц или ГГц, то можно следовать следующей методике: вначале, отыскав сигналы в самом начале диапазона существования, необходимо точно определиться с тактовой частотой. Затем, зная эту частоту, пройти по всему диапазону и решить, выше каких частот сигнал невозможно найти. После этого необходимо мысленно разбить весь диапазон существования сигналов на поддиапазоны в МГц. В каждом поддиапазоне находим ориентацию антенны «по максимуму» для нескольких сигналов с наибольшими значениями. И проверяем, чтобы в пределах каждого поддиапазона амплитуды незначительно зависели от ориентации, например, не более, чем на плюс/минус 5 дБ.

При проведении специальных исследований ПЭМИН в рамках лабораторного практикума будет использоваться следующее оборудование:

- средство вычислительной техники (СВТ), с предустановленными тестовыми программами;
- измерительная дипольная антенна;
- штатив для измерительной антенны;
- средство измерения параметров СВТ (например, цифровой анализатор спектра «ATTEN AT6030D»).

Структура программно-аппаратного комплекса показана на рисунке 1.1.

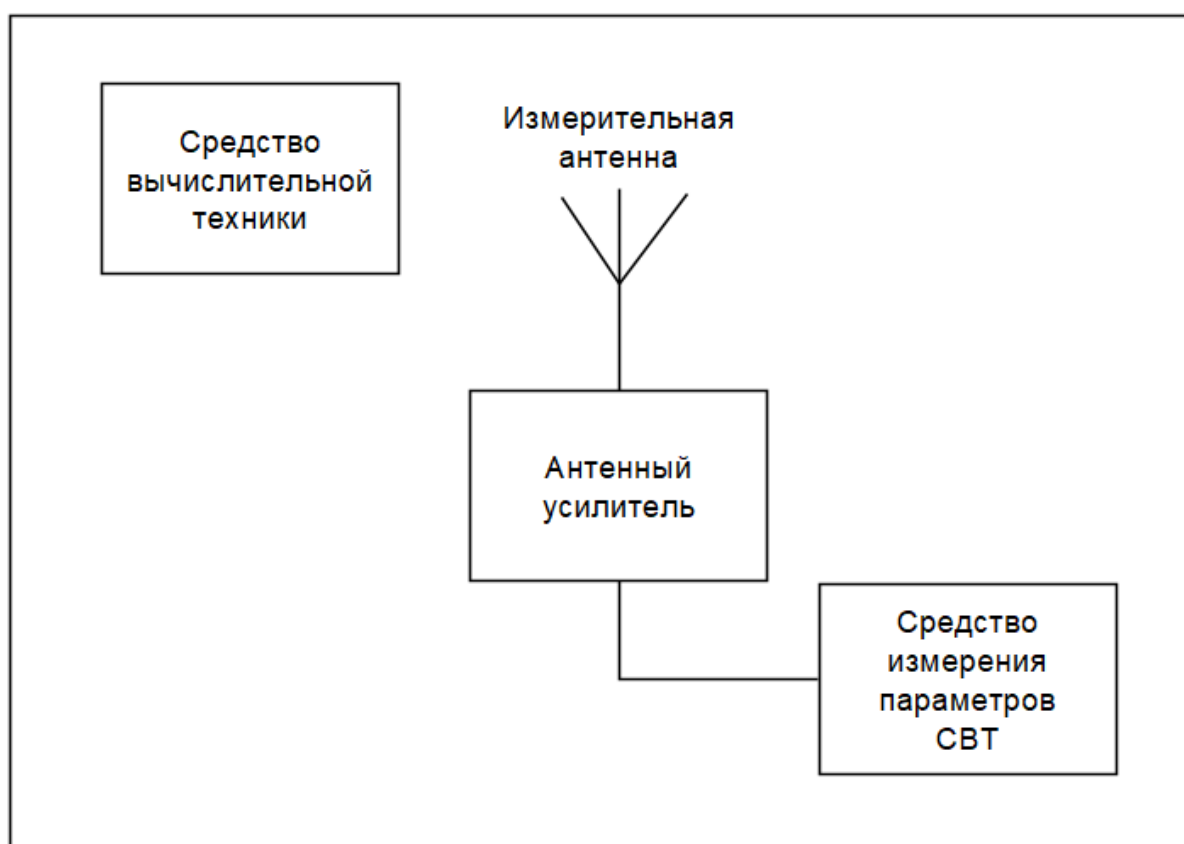


Рисунок 1.1 – Структура программно-аппаратного комплекса

При проведении лабораторного практикума, во избежание негативного влияния для оборудования, необходимо придерживаться следующего алгоритма действий:

На первом этапе произвести установку антенны на штатив. Установка антенны на штатив рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- закрепите кронштейн на штативе;

- установите антенну в узел крепления кронштейна;
- присоедините к выходному разъёму антенны измерительный кабель;
- присоедините свободный разъем измерительного кабеля к входному разъёму антенного усилителя;
- присоедините к выходному разъёму антенного усилителя измерительный кабель;
- присоедините свободный разъем измерительного кабеля, идущего от антенного усилителя, к входному разъёму измерительного прибора.

Для измерения характеристик электромагнитных полей антенну подключают ко входу анализатора спектра, измерительного приёмника, измерителя мощности или иного приёмного измерительного устройства.

На втором этапе необходимо включить измерительный прибор.

При проведении измерений следует изменять ориентацию поляризации антенны в креплении до достижения максимума напряжения на выходе антенны.

Для расчета расстояний распространения информативного сигнала от СВТ при выполнении лабораторного практикума применяется расчетная программа.

2 Выбор компонентов программно-аппаратного комплекса

2.1 Измерительная система

При проведении специальных исследований, в которых производится измерение ПЭМИН, используются измерительные системы, в состав которых входят анализаторы спектра и измерительные антенны.

Измерительная система – это совокупность измерительных, связующих, вычислительных компонентов, образующих измерительные каналы, и вспомогательных устройств (компонентов измерительной системы), функционирующих как единое целое, предназначенная для:

- получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных преобразований в общем случае множества изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин, характеризующих это состояние;
- машинной обработки результатов измерений;
- регистрации и индикации результатов измерений и результатов их машинной обработки;
- преобразования этих данных в выходные сигналы системы в разных целях [1].

2.2 Анализаторы спектра

Анализаторы спектра являются высокочувствительными измерительными приборами, используемыми для проведения анализа и измерения характеристик различного типа сигналов.

Анализаторы спектра является основным инструментом, используемым при радиоконтроле. Они позволяют наблюдать частотное представление сигналов. Анализаторы спектра обеспечивают синхронизацию по радиосигналам и по тем или иным событиям в них, быстрое оконное преобразование Фурье, дискретизацию и запоминание текущего спектра, просмотр спектра в заданном диапазоне частот, выявление особенностей

модуляции радиосигналов, построение специальных спектров и спектрограмм в реальном масштабе времени, выявление различных нестабильностей спектра и множество других возможностей [2].

Сейчас на рынке существует множество вариантов анализаторов спектра. Они делятся на:

- портативные, которые подходят для тестирования, установки и обслуживания беспроводных телекоммуникационных систем, кабельных систем, спутниковых антенн, систем радиочастотной идентификации, перехвата, детектирование скрытых камер наблюдения и др.

- настольные, которые используются при проведении исследований в лабораторных условиях и в основном обладают лучшими характеристиками, чем портативные.

При наличии анализатора спектра возникает вопрос о выборе измерительной антенны.

2.3 Измерительные антенны

Антеннами называют устройства, предназначенные для приема и (или) излучения электромагнитных колебаний при передаче информации через свободное пространство. Конструктивно антенны представляют собой проводник либо систему проводников специальной формы, обеспечивающих прием и излучение в заданном направлении.

Качество антенн характеризуют следующими параметрами: коэффициентом направленного действия (КНД), коэффициентом полезного действия, коэффициентом усиления, сопротивлением излучения, действующей длиной (высотой) либо эффективной поверхностью. Антенны обладают свойством обратимости, благодаря которому их параметры не меняются при переходе из режима приема в режим передачи.

Существуют следующие виды измерительных антенн:

- штыревые антенны;
- дипольные антенны;

- логопериодические антенны;
- рамочные антенны;
- рупорные антенны;
- биконические антенны.

При выборе измерительных антенн важным параметром является их частотный диапазон, так как он определяет какие именно сигналы ПЭМИН будут обнаружены при проведении измерений.

Был проведён анализ присутствующих в продаже измерительных антенн и выбраны наиболее подходящие для проведения лабораторного практикума, среди них [3 – 5]:

- широкополосная рупорная антенна П6-123 на базе Н-образного волновода предназначена для приема и передачи линейно поляризованного сигнала. В зависимости от типа присоединенного оконечного устройства, может использоваться для измерения напряженности электромагнитного поля или плотности потока энергии, излучения электромагнитного поля, определения поляризации сигнала и направления на источник излучения. Рекомендована для метрологических приложений и задач оценки электромагнитной совместимости (ЭМС) и ПЭМИН;

- комбинированная логопериодическая антенна П6-251 совместно с измерительными приёмными устройствами и генераторами применяются для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля, параметров антенных устройств, параметров электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, а также возбуждения электромагнитного поля с заданной плотностью потока энергии в диапазоне частот от 0,03 до 6,00 ГГц;

- антенна измерительная дипольная АИ5-0 предназначена для измерения ПЭМИН от различных радиоэлектронных устройств (РЭУ). АИ5-0 применяется для проведения специальных исследований в сфере обороны и безопасности, а также при проведении работ по обеспечению ЭМС РЭУ.

Основные характеристики П6-123:

- тип: рупорная, двухгребневая;

- рабочий диапазон частот: от 900 до 12400 МГц;
- коэффициент калибровки: от 5 до 15 дБ, относительно 1/м;
- пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента калибровки: плюс/минус 2 дБ;

- коэффициент стоячей волны напряжения: 2;
- габаритные размеры: 244×240×143 мм.

Основные характеристики П6-251:

- тип: логопериодическая;
- рабочий диапазон частот: от 100 до 6000 МГц;
- коэффициент калибровки: от 20 до 40 дБ, относительно 1/м;
- пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента калибровки: плюс/минус 2 дБ;

- коэффициент стоячей волны напряжения: 2;
- габаритные размеры: 480×300×88 мм.

Основные характеристики АИ5-0:

- тип: дипольная;
- рабочий диапазон частот: от 0,009 до 2000 МГц;
- коэффициент калибровки: 20 до 45 дБ, относительно 1/м;
- пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента калибровки: плюс/минус 2 дБ;

- коэффициент стоячей волны напряжения: не более 2,5;
- габаритные размеры: 170 (длина вибраторов) мм.

Основополагающим параметром при выборе измерительной антенны для лабораторного практикума служит её рабочий диапазон частот. Исходя из этого, среди приведённых выше измерительных антенн дипольная АИ5-0 является наиболее подходящей, так как покрывает нужный диапазон частот от 30 до 2000 МГц, используемый при проведении лабораторного практикума.

По итогам сравнения вариантов антенн трёх разных типов, которые могут быть использованы для проведения лабораторного практикума, была

выбрана наиболее подходящая. Её основной минус – это дороговизна, поэтому было принято решение собственными силами изготовить дипольную антенну, которая сможет охватывать необходимый диапазон частот, однако её коэффициент калибровки и пороговая чувствительность будут отличаться от выбранного варианта. Этот факт не окажет существенного влияния на проведение лабораторного практикума, так как его основная цель – получение практических навыков по работе с измерительными приборами и знаний о методике проведения специальных исследований ПЭМИН.

3 Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения специальных исследований

3.1 Разработка измерительной дипольной антенны

3.1.1 Разработка вибраторов для измерительной дипольной антенны

При проведении специальных исследований технических средств передачи, обработки и хранения информации, а также в ходе контроля уровня их защиты, возникает необходимость определения параметров электромагнитных полей этих средств на определенном удалении от них, например, на границе контролируемой зоны. Для этого проводятся лабораторные исследования данных средств, в ходе которых обычно используют измерительно-расчетный метод, сущность которого заключается в измерении напряженности поля на небольших расстояниях от источника излучения, так как почти вся энергия электромагнитного излучения поглощается средой, в которой оно распространяется, а также различными препятствиями, и последующем пересчете полученных величин в значения, соответствующие требуемой величине удаления от технического средства обработки информации.

В ходе измерений используются различные антенные устройства и устройства, которые преобразуют полученную на антенне напряжённость электромагнитного поля в форму для анализа, например, спектр частот.

Частотный диапазон ПЭМИН, сопровождающий информативные сигналы, простирается от единиц килогерц до гигагерц и выше и определяется тактовой частотой используемого средства обработки информации (СОИ). В случае измерений для стандартного компьютерного монитора перехват информации возможен на частотах вплоть до 50 гармоники тактовой частоты. Поэтому при разработке измерительной антенны необходимо учитывать данный фактор.

Спектр ПЭМИН от монитора СВТ в простейшем случае представляет собой спектр сигнала с амплитудной модуляцией. При чём несущая частота и

боковые частоты спектра будут определяться следующими параметрами видеоподсистемы СВТ:

- количеством пикселей по горизонтали $N_{ГОР}$;
- количеством пикселей по вертикали $N_{ВЕРТ}$;
- частотой кадровой развёртки F_k ;
- коэффициентом, учитывающим ход кадровой и сточной развёртки.

Исходя из этих параметров можно рассчитать тактовую частоту F_T .

В режиме пиксель через пиксель период следования импульсов ориентировочно в 2 раза больше их длительности, то есть создается сигнал в виде меандра, имеющий скважность 2.

Коэффициент, учитывающий неполное использование периода кадра информативным сигналом (КОХ) для различных видеоадаптеров, равен от 1,3 до 1,5.

Общая формула для расчёта тактовой частоты для интерфейса VGA выглядит следующим образом:

$$F_T = F_k \cdot N_{ГОР} \cdot N_{ВЕРТ} \cdot КОХ / (K_{сетки} + K_n), \quad (1)$$

где $K_{сетки}$ – количество белых пикселей в сетке;

K_n – количество чёрных пикселей в сетке, через которое будут повторяться белые пиксели.

Таким образом, исходя из (1), тактовая частота для монитора с разрешением 1920x1080 и частотой развёртки 60 Гц равна 74,25 МГц.

При разработке измерительной антенны необходимо учитывать, что она должна быть широкополосной, для того чтобы была возможность обнаружить как можно больше гармоник сигнала, которые содержат информативную составляющую сигнала, то есть диапазон рабочих частот разрабатываемой антенны должен быть как можно шире.

Диапазоном рабочих частот (полосой пропускания) Δf антенны называется интервал частот от f_{min} до f_{max} , в пределах которого все параметры антенны не выходят из заданных пределов:

$$\Delta f = f_{max} - f_{min} . \quad (2)$$

Для разрабатываемой антенны необходимо чтобы выполнялось следующее неравенство: $0,1 < \Delta f / f_{cp} < 1$, вследствие чего антенна будет являться широкополосной. Диапазон рабочих частот широкодиапазонных антенн оценивают специальным параметром – коэффициентом перекрытия диапазона $K\partial = f_{max} / f_{min}$ [6].

В качестве основы для разработки дипольной антенны была выбрана антенна АИ5-0. Разработанная антенна должна работать в той же полосе частот.

Так как создание антенн с высоким коэффициентом усиления и широкой полосой пропускания представляет основную проблему в области конструирования антенн, было выполнено компьютерное моделирование вибраторов измерительной антенны. Для точного и эффективного моделирования антенны следует начинать с простой геометрической топологии и постановки, а затем постепенно добавлять более сложные элементы и условия. Для уменьшения вычислительной сложности задачи необходимо исключить лишние элементы модели и сосредоточиться только на важных для дизайна аспектах.

В ходе экспериментов с моделями симметричных вибраторов в программном обеспечении «COMSOL Multiphysics 6.0» были разработаны вибраторы, являющиеся аналогом вибраторов антенны АИ5-0.

Геометрия дипольной антенны состоит из множества объединённых блоков, размер которых был подобран экспериментальным путём в результате множества попыток моделирования. Спроектированная 3D модель дипольной антенны представлена на рисунке 3.1.

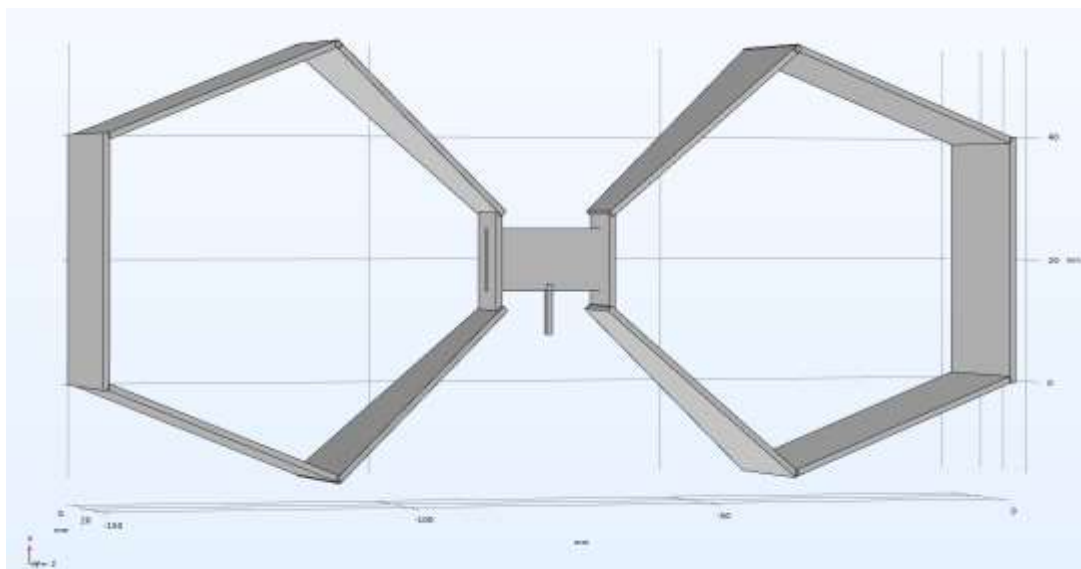


Рисунок 3.1 – Спроектированная 3D модель вибраторов дипольной измерительной антенны

Для расчёта параметров разработанного диполя необходимо добавить в спроектированную модель пространство, в котором будет распространяться радиоволны. В качестве расчетной области был выбран шар, заполненный добавленным в модель материалом с параметрами, которые соответствуют параметрам воздуха. Материал из которого состоят вибраторы дипольной антенны считается идеальным проводником. Это сделано для того, чтобы ускорить расчёт параметров. Результат добавления расчётной области представлен на рисунке 3.2.

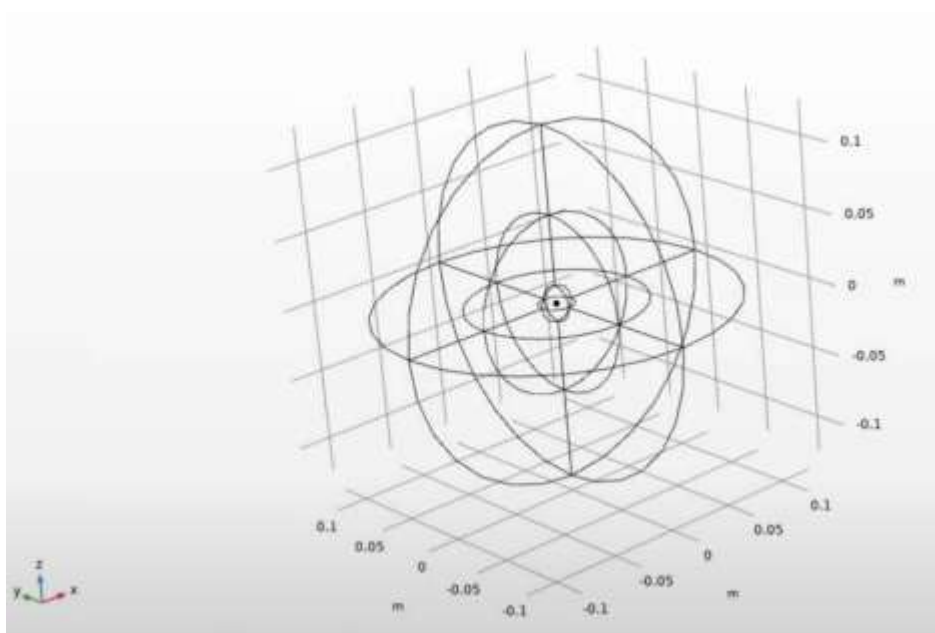


Рисунок 3.2 – Спроектированная 3D модель вибраторов дипольной измерительной антенны в расчетной области

Перед расчётом был подключен коаксиальный кабель внутри модели, который обладает питанием. Расчёт параметров был выполнен для диапазона частот от 0,005 МГц до 2000 МГц с шагом 0,005 МГц. График распределения нормы электрического поля, а также диаграмма направленности в полярных координатах представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

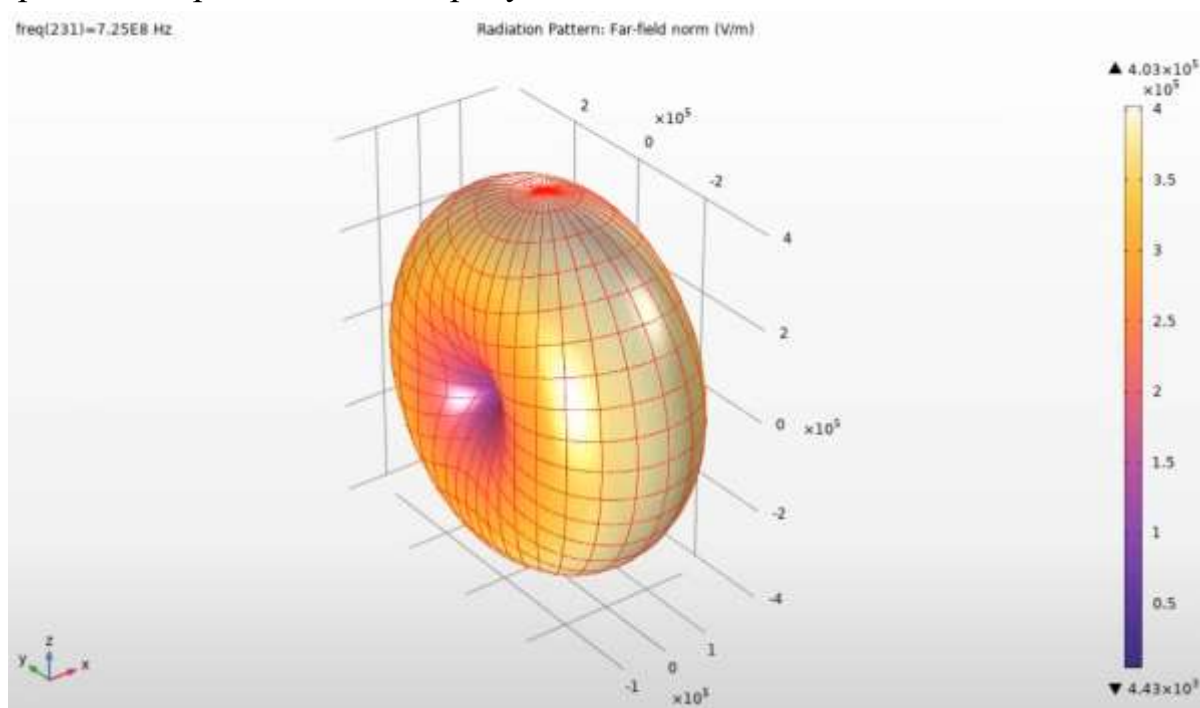


Рисунок 3.3 – График распределения нормы электрического поля

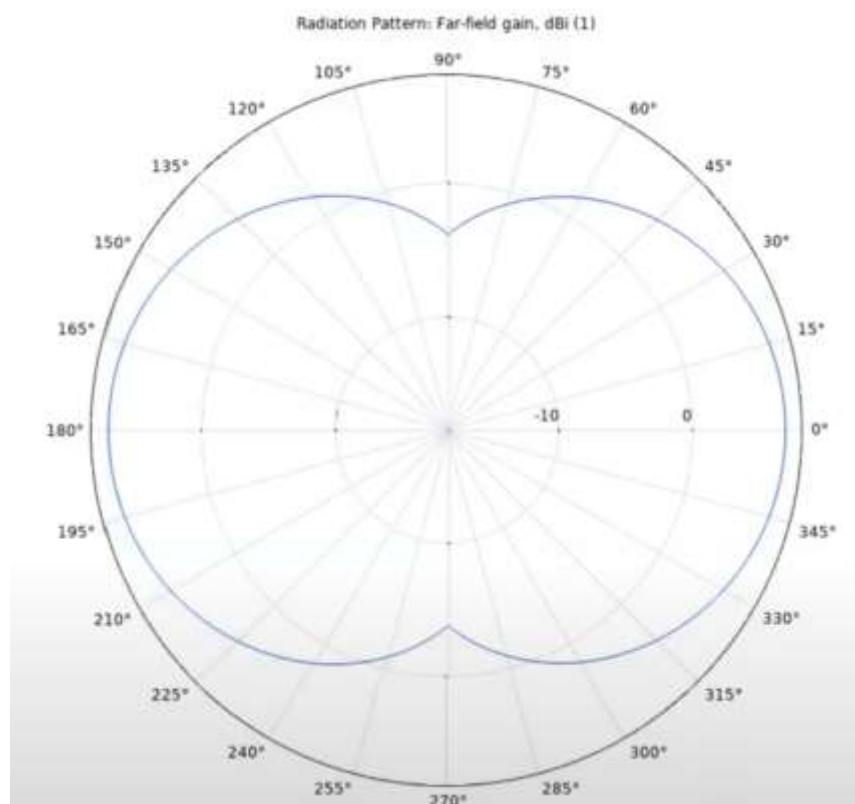


Рисунок 3.4 – Диаграммы направленности разработанной антенны

Графики распределения нормы электрического поля антенны используются для оценки ее радиочастотных характеристик, таких как направленность, усиление, ширина диаграммы направленности и т.д. Они также могут быть использованы для определения оптимальной ориентации и расположения антенны для достижения наилучшей производительности. Кроме того, графики распределения поля могут быть полезными при проектировании и отладке антенных систем, так как они позволяют оценить влияние различных параметров на радиочастотные характеристики антенны.

Диаграмма направленности антенны показывает, как сильно сигнал передается в разных направлениях от антенны. Она используется для определения оптимального направления установки антенны, чтобы максимизировать сигнал в нужном направлении и минимизировать его в нежелательных направлениях.

После получения необходимых данных о размерах и геометрии вибраторов антенны был сделан чертёж необходимых деталей, которые будут изготовлены из меди толщиной 1 мм. Данный чертёж представлен на рисунке 3.5.

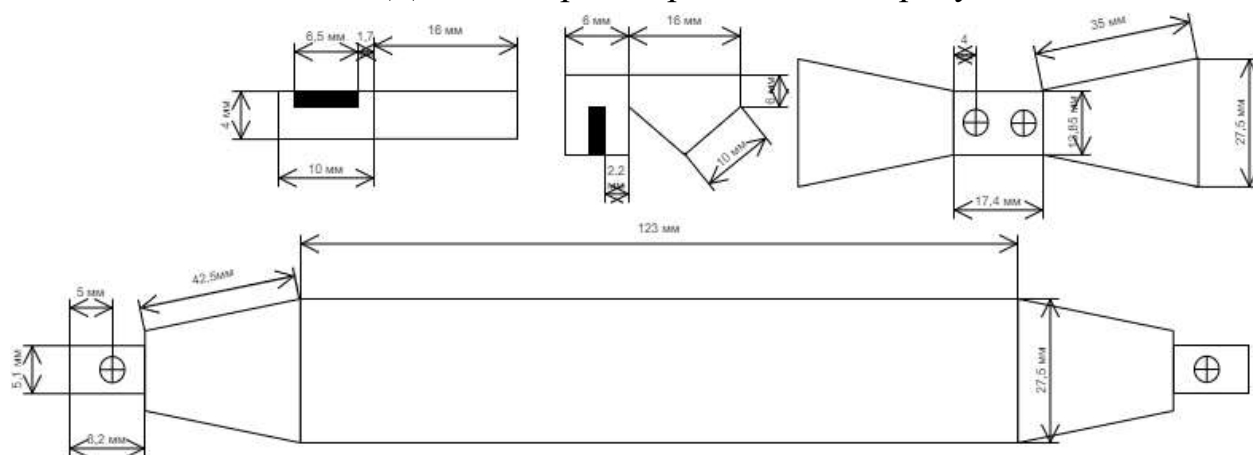


Рисунок 3.5 – Чертёж вибраторов измерительной антенны

3.1.2 Разработка предусилителя для измерительной дипольной антенны

Для корректной работы антенны необходимо согласование с приёмным устройством. Согласующая цепь подключается между источником и нагрузкой, и ее схема обычно разработана таким образом, что она передает почти всю мощность на нагрузку, представляя входной импеданс, который равен

комплексному сопряжению выходного импеданса источника. С другой стороны, согласующая цепь представляет собой преобразователь выходного импеданса источника, так чтобы он был равен комплексному сопряжению импеданса нагрузки.

За основу для разработки была взята схема активной дипольной антенны, работающей в диапазоне от 100 кГц до 40 МГц, представленная в [7]. Её принципиальная схема представлена на рисунке 3.6.

Рисунок 3.6 – Принципиальная схема активной дипольной антенны

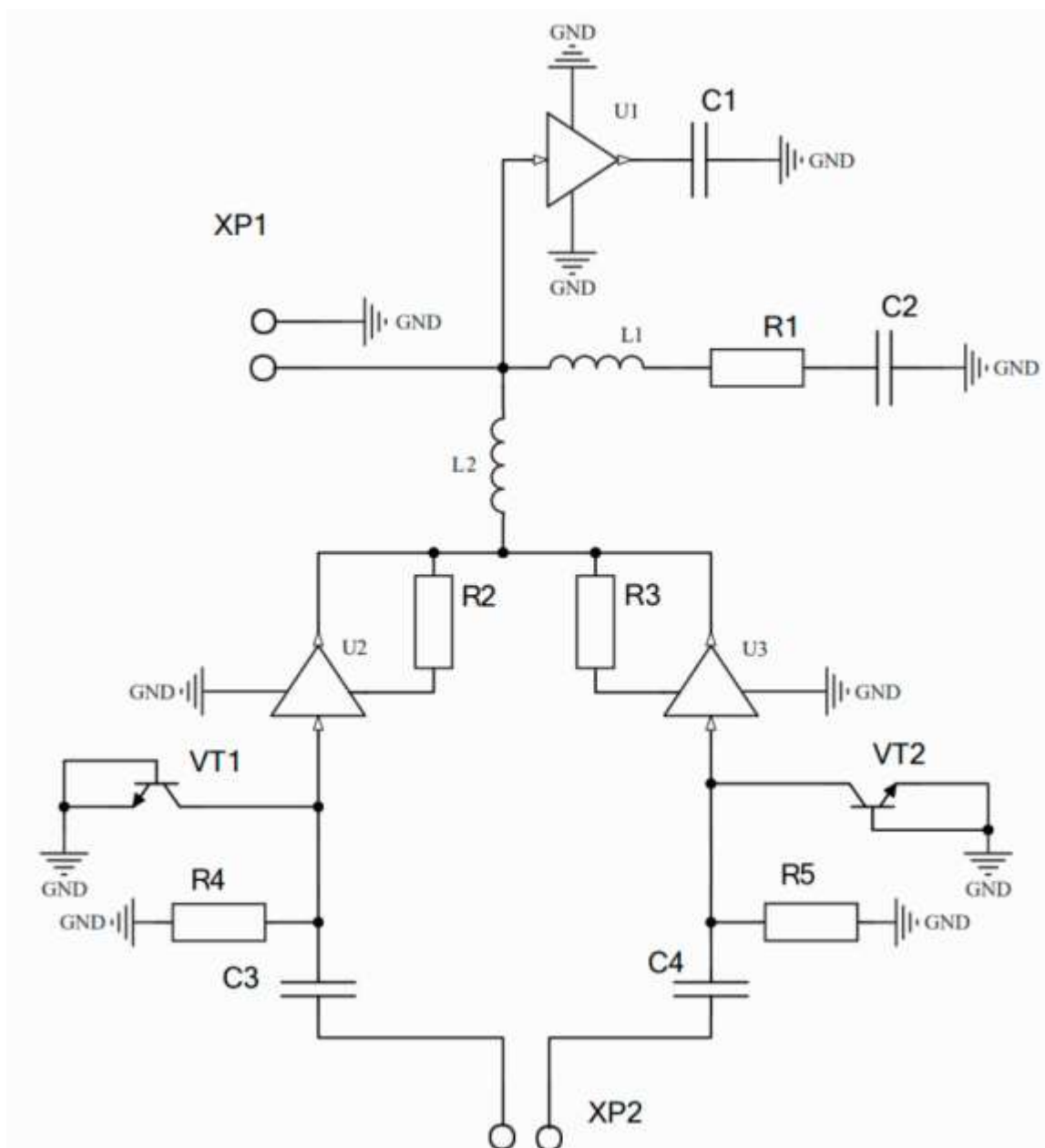


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема предусилителя дипольной антенны

В полученной схеме усиление происходит благодаря полевым транзисторам с двойным затвором BF988, которые предназначены для усиления высокочастотного сигнала от десятков кГц до единиц ГГц специально для широкополосного антенного усилителя. Данный усилитель устанавливается для каждого вибратора антенны отдельно. Также для усиления в диапазоне от 0,05 ГГц до 1,3 ГГц используется биполярный усилитель ВЧ малой мощности MSA1105, который установлен перед выходом предусилителя дипольной антенны и усиливает суммированный сигнал от двух вибраторов антенны.

Полный список элементов схемы представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Список элементов предусилителя дипольной антенны

Обозначение на схеме	Тип	Номинал
C1	Конденсатор	1,1 мкФ
C2	Конденсатор	1,1 мкФ
C3	Конденсатор	0,1 нФ
C4	Конденсатор	0,1 нФ
R1	Резистор	270 Ом
R2	Резистор	33,3 Ом
R3	Резистор	33,3 Ом
R4	Резистор	3,6 МОм
R5	Резистор	3,6 МОм
L1	Катушка индуктивности	10 мкГн
L2	Дроссель	1000 мкГн
U1	Транзистор MSA-1105	-
U2	Транзистор BF988	-
U3	Транзистор BF988	-
VT1	Транзистор DTD123ЕК	-
VT2	Транзистор DTD123ЕК	-
XP1	Выход предусилителя к которому подключается коаксиальный кабель, имеющий низкий уровень затухания сигнала	-
XP2	Вход предусилителя к которому подключаются вибраторы антенны	-

Более подробные характеристики элементов U1, U2, U3, VT1 и VT2 представлены в таблицах с 3.2 по 3.4. Данные таблицы полезны при выборе аналогов этих элементов.

В таблице 3.2 представлены характеристики полевого транзистора с двойным затвором, имеющий обозначение на схеме, представленной на рисунке 3.7, U1.

Таблица 3.2 – Характеристики полевого транзистора с двойным затвором MSA-1105

Характеристика	Значение	Единица измерения
Напряжение питания	5,5	В
Входная радиочастотная мощность	13	дБм

Продолжение таблицы 3.2

Характеристика	Значение	Единица измерения
Выходной ток	80	мА
Рассеиваемая мощность	550	мВт
Коэффициент усиления по мощности	при $f = 0.05$ ГГц равен 12,7; при $f = 0.5$ ГГц равен 12,0; при $f = 1.0$ ГГц равен 10,5	дБ
Уровень шума	3,6	дБ
Выходная мощность	17,5	дБм

В таблице 3.3 представлены характеристики полевых транзисторов с двойным затвором, имеющих обозначение на схеме, представленной на рисунке 3.7, U2 и U3.

Таблица 3.3 – Характеристики полевого транзистора с двойным затвором BF988

Характеристика	Значение	Единица измерения
Напряжение пробоя	12	В
Ток стока	30	мА
Пиковый ток источника	10	мА
Рассеиваемая мощность	200	мВт
Ток утечки	10,5	мА
Коэффициент усиления по мощности	20	дБ
Уровень шума	1,5	дБ

В таблице 3.4 представлены характеристики транзисторов, имеющих обозначение на схеме, представленной на рисунке 3.7, VT1 и VT2.

Таблица 3.4 – Характеристики транзистора DTD123ЕК

Характеристика	Значение	Единица измерения
Напряжение питания	50	В
Входное напряжение	от минус 10 до плюс 12	В

Продолжение таблицы 3.4

Характеристика	Значение	Единица измерения
Выходной ток	500	мА
Рассеиваемая мощность	200	мВт
Коэффициент усиления по постоянному току	39	-
Входное сопротивление	2,2	кОм
Частота перехода устройства	200	МГц

С помощью программного обеспечения Altium Designer была построена 3D модель печатной платы. Результат представлен на рисунках 3.8 и 3.9.



Рисунок 3.8 – 3D представление печатной платы, вид сзади

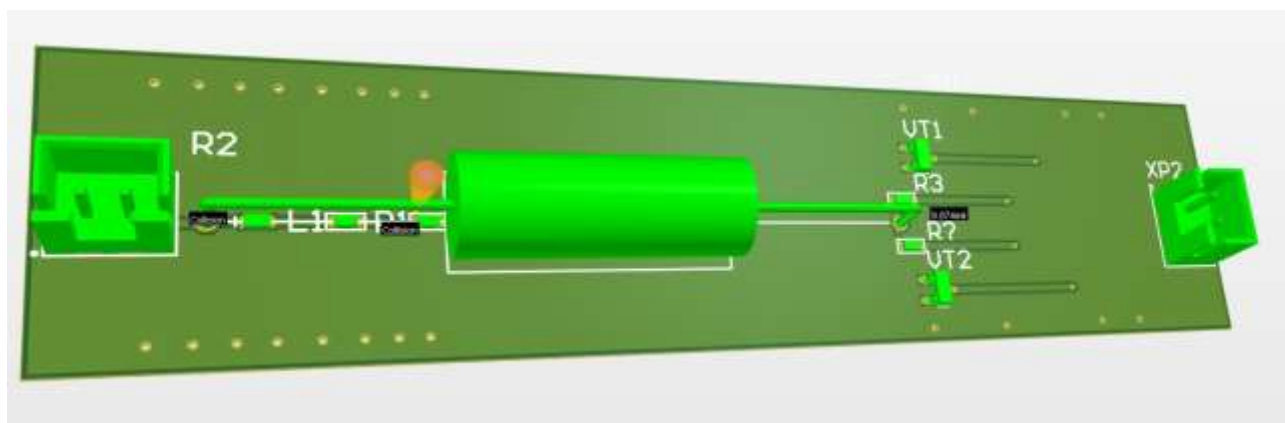


Рисунок 3.9 – 3D представление печатной платы, вид спереди

После расстановки элементов на плате и размещения крепежных отверстий была выполнена трассировка печатной платы. Результат трассировки представлен на рисунках 3.10 и 3.11.



Рисунок 3.10 – Трассировка печатной платы, вид сзади

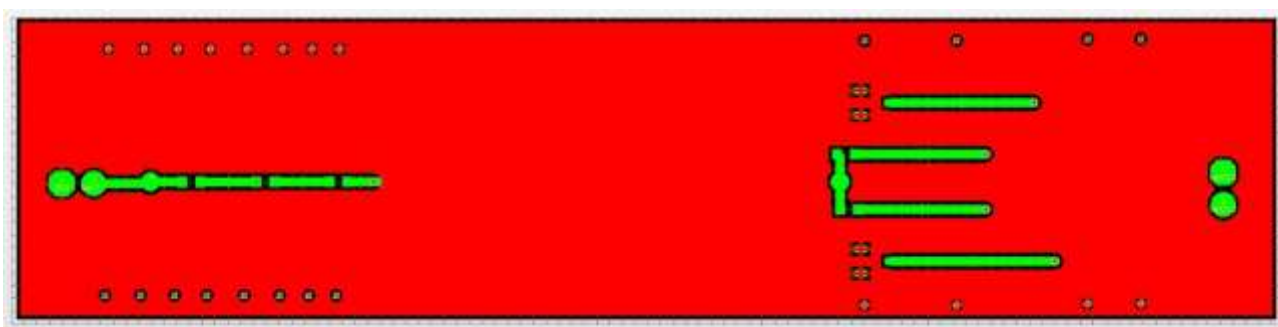


Рисунок 3.11 – Трассировка печатной платы, вид спереди

После разработки печатной платы она была изготовлена методом травления, который заключается в удалении меди с печатной платы.

3.2 Разработка программы расчета требуемого радиуса контролируемой зоны

$$R_2$$

Так как измерения напряжённости электромагнитного поля являются одной из самых основных, базовых видов измерения в проблематике ТЗИ, то расчёт зон является второстепенным, но не менее важным при проведении специальных исследований. Чаще всего расчёт выполняется с помощью программ, входящих в состав аппаратно-программных или программно-аппаратных комплексов, так как некоторые расчёты требуют десятки тысяч измерений и выполнять расчёт вручную не является рациональным.

Поэтому для того, чтобы помочь студентам в освоении материала, изучаемого в рамках дисциплин, связанных со специальными исследованиями, было разработано программное обеспечение для расчёта зоны R_2 .

В качестве методики расчета была использована открытая методика, представленная в лабораторной работе №1 дисциплины «Специальные

исследования технических средств защищенных автоматизированных систем управления» [8].

Рассмотрим содержание методики расчета требуемого радиуса контролируемой зоны R_2 .

Радиус контролируемой зоны R_{2i} для i -й составляющей спектра информативного сигнала определяется из условия

$$R_{2i} = R_i,$$

где R_i рассчитывается для ближней зоны распространения сигнала.

Если $L_1 < R_i < L_2$ или $R_0 \leq L_1$ то расчет R_i проводится для промежуточной зоны, где

$$L_1 = \frac{150}{\pi * f_i} \quad (3)$$

- расстояние от СВТ до границы ближней и промежуточной зон, м

$$L_2 = \frac{1800}{f_i} \quad (4)$$

- расстояние от СВТ до границы промежуточной и дальней зон, м;

f_i - частота спектральной составляющей информативного сигнала, МГц.

Если $R_i > L_2$, то расчет R_i проводится для дальней волновой зоны.

За требуемый радиус контролируемой зоны принимается максимальное из всех R_2 .

Возможные расстояния R_i распространения информативного сигнала от СВТ для каждой его спектральной составляющей рассчитываются по формуле:

$$R_i = \frac{L_i}{\pi \sqrt{\frac{g * E_{\text{III}i}}{E_{Ci}}}} \quad (5)$$

Значение Π выбирается из условий:

$\Pi=3$ при $R_i < \lambda_i/2 \cdot \pi$ (ближняя зона);

$\Pi=2$ при $\lambda_i/2 \cdot \pi < R_i < 6 \cdot \lambda_i$ (промежуточная зона);

$\Pi=1$ при $R_i > 6 \cdot \lambda_i$ (дальняя волновая зона),

где $\lambda_i = \frac{300}{f_i}$ – длина волны, м.

Значение L_i выбирается из условий:

$L_i = R_0$ – для ближней зоны;

$L_i = \begin{cases} L_{1i}, & \text{если } L_{1i} > R_0 \\ R_0, & \text{если } L_{1i} \leq R_0 \end{cases}$ – для промежуточной зоны;

$L_i = \begin{cases} L_{2i}, & \text{если } L_{2i} > R_0 \\ R_0, & \text{если } L_{2i} \leq R_0 \end{cases}$ – для дальней зоны.

Значение E_i выбирается из условий:

$E_i = E_{Ci}$ – для ближней зоны;

$E_i = \begin{cases} E_{1i}, & \text{если } L_{1i} > R_0 \\ E_{Ci}, & \text{если } L_{1i} \leq R_0 \end{cases}$ – для промежуточной зоны;

$E_i = \begin{cases} E_{2i}, & \text{если } L_{2i} > R_0 \\ E_{Ci}, & \text{если } L_{2i} \leq R_0 \end{cases}$ – для дальней зоны,

где $E_{1i} = E_{Ci} \cdot (R_0/L_{1i})^3$ (6)

- значение напряженности поля информативного сигнала на границе ближней и промежуточной зон;

$$E_i = \begin{cases} E_{1i} \cdot \left(\frac{L_{1i}}{L_{2i}}\right)^2, & \text{если } L_{1i} > R_0 \\ E_{Ci} \cdot \left(\frac{R_0}{L_{2i}}\right)^2, & \text{если } L_{1i} \leq R_0 \end{cases} \quad (7)$$

- значение напряженности поля информативного сигнала на границе промежуточной и дальней зон.

$$E_{ci} = \sqrt{E_{0i}^2 - E_{\text{ш}i}^2} \text{ мкВ/м}, \quad (8)$$

где E_{0i} – уровень напряженности электромагнитного поля при работе СВТ в тестируемом режиме;

$E_{\text{ш}i}$ – уровень напряженности электромагнитного поля при выключенном СВТ. Значения g выбираются из условий:

$g = 1,3$ – для СВТ, не имеющих в своем составе видеомониторов;

$g = 0,6$ – для СВТ, имеющих в своем составе видеомониторы.

Также к данной методике было добавлено следующее: так как коэффициенты калибровки и коэффициенты усиления рассчитываются не для каждой частоты, то при проведении измерений на промежуточных частотах, входящих в диапазон, для которого есть данные коэффициенты, получить коэффициент калибровки для промежуточной частоты можно с помощью формулы автокорреляции:

$$K(f) = \frac{K_{\text{в}} * \lg\left(\frac{f}{f_{\text{н}}}\right) + K_{\text{н}} * \lg\left(\frac{f_{\text{в}}}{f}\right)}{\lg\left(\frac{f_{\text{в}}}{f_{\text{н}}}\right)}, \quad (9)$$

где K – это искомый коэффициент;

f – частота, на которой необходимо рассчитать коэффициент;

$K_{\text{в}}$ – значение коэффициента на верхней частоте интервала, в который попадает f ;

$K_{\text{н}}$ – значение коэффициента на нижней частоте интервала, в который попадает f ;

$f_{\text{в}}$ – верхняя частота интервала, в который попадает f ;

$f_{\text{н}}$ – нижняя частота интервала, в который попадает f .

Во время разработки программного обеспечения были определены следующие входные данные:

- параметры измеренного сигнала от СВТ:
 - частота информативного сигнала $f_{инф}$, измеряемая в МГц;
 - уровень сигнала на частоте $f_{инф}$, измеренный в дБмкВ;
 - уровень шумов на частоте $f_{инф}$, измеренный в дБмкВ;
- коэффициент усиления усилителя:
 - частота $f_{КУ}$, на которой усиливается сигнал, измеряемая в МГц;
 - коэффициент усиления на частоте $f_{КУ}$, измеренный в дБмкВ;
- коэффициент калибровки антенны:
 - частота $f_{КК}$, на которой выполнялась калибровка, измеряемая в МГц;
 - коэффициент калибровки на частоте $f_{КК}$, измеряемый в дБ (Ом·м⁻¹);
- значение R_0 ;
- значение коэффициента g .

Также были определены выходные данные программного обеспечения:

- R_i для ближней зоны на каждой i -й составляющей спектра;
- R_i для средней зоны на каждой i -й составляющей спектра;
- R_i для дальней зоны на каждой i -й составляющей спектра;
- R_i на каждой i -й составляющей спектра;
- радиус контролируемой зоны R_2 для СВТ в целом.

В целях реализации алгоритма расчёта зоны R_2 на языке C++ в среде разработки Microsoft Visual Studio 2022 был написан код программы, представленный в приложениях В и Г.

Разработанная программа расчёта зоны R_2 реализована в виде графического приложения с помощью платформы пользовательского интерфейса Windows Forms [9], предназначенного для создания классических приложений Windows для ОС Windows [10].

Все расчёты в программе выполняются после срабатывания события нажатия кнопки «Рассчитать». Весь алгоритм функции «Рассчитать» находится

в приватном методе `System::Void button1_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e)` автоматически администрируемого класса [11] `MyForm`.

Помимо расчета была реализована функция очистки всех полей и векторов, используемых для хранения данных, в программе для того, чтобы можно было делать множество расчётов, не перезапуская программное обеспечение. Данная функция привязана к событию нажатия кнопки «Очистить». Весь алгоритм функции «Очистить» находится в приватном методе `System::Void button2_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e)` автоматически администрируемого класса `MyForm`.

Была создана структура `MyData`, которая включает в себя следующие свойства класса:

- `vector <double> Frac` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются введенные частоты информативного сигнала;
- `vector <double> Usig` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются введенные уровни сигнала;
- `vector <double> Unoise` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются введенные уровни шумов;
- `vector <double> Usilenie` – данное свойство представляет собой вектор, в котором хранятся коэффициенты усиления для заполнения таблицы «Коэффициент усиления усилителя» при выборе «Имеющиеся КУ и КК»;
- `vector <double> Ukalib` – данное свойство представляет собой вектор, в котором хранятся коэффициенты калибровки для заполнения таблицы «Коэффициент калибровки» при выборе «Имеющиеся КУ и КК»;
- `vector <double> Esh` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются рассчитанные уровни напряженности сигнала в мкВ/м;
- `vector <double> Eh` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются рассчитанные уровни напряженности шумов в мкВ/м;
- `vector <double> L1` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются рассчитанные расстояния от СВТ до границы ближней и промежуточной зон, м;

- `vector <double> L2` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются рассчитанные расстояния от СВТ до границы промежуточной и дальней зон, м;
- `vector <double> lambd` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются рассчитанные длины волн, м;
- `vector <double> Eci` – данное свойство представляет собой вектор, в который записываются рассчитанные уровни напряженности сигнала без шума в мкВ/м;
- `vector <double> Li` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается
- `vector <double> E1i` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается рассчитанные значения напряженности поля информативного сигнала на границе ближней и промежуточной зон;
- `vector <double> E2i` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается рассчитанные значения напряженности поля информативного сигнала на границе промежуточной и дальней зон;
- `vector <double> Ribliz` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается рассчитанные значения R_i для ближней зоны на каждой i -й составляющей спектра;
- `vector <double> Rsred` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается рассчитанные значения R_i для средней зоны на каждой i -й составляющей спектра;
- `vector <double> Rdal` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается рассчитанные значения R_i для дальней зоны на каждой i -й составляющей спектра;
- `vector <double> Ri` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается рассчитанные значения R_i на каждой i -й составляющей спектра;
- `vector <double> Usi_F_read` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается введенные в таблицу «Коэффициент усиления

усилителя» данные;

– `vector <double> Ukali_F_read` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается введенные в таблицу «Коэффициент калибровки» данные;

– `vector <double> Usi_U_read` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается введенные в таблицу «Коэффициент усиления усилителя» данные;

– `vector <double> Ukali_U_read` – данное свойство представляет собой вектор, в который записывается введенные в таблицу «Коэффициент калибровки» данные;

– `double R0` – данное свойство представляет число, в которое записывается введенное значение R_0 .

– `double g` – данное свойство представляет собой число, в которое записывается введенное значение коэффициента g .

– `double R2` – данное свойство представляет собой число, в которое записывается рассчитанный радиус контролируемой зоны R_2 для СВТ в целом.

Графический интерфейс разработанной расчётной программы представлен на рисунке 3.12.

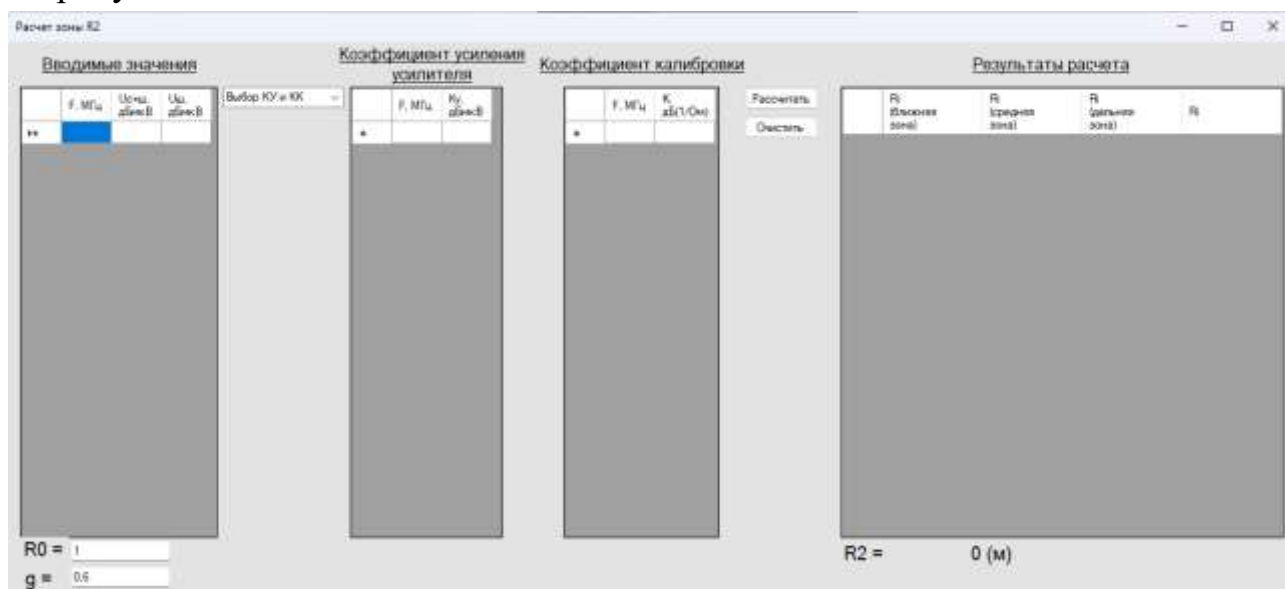


Рисунок 3.12 – Графический интерфейс расчётной программы

Таблица с названием «Вводимые значения» предназначена для ввода пользователем измеренных, в ходе выполнения лабораторного практикума,

значений уровня напряженности сигнала с шумом и шума, измеренного на частотах, соответствующих гармоникам сигнала от СВТ. Под этой таблицей расположены поля для ввода расстояния R_0 и коэффициента g .

Интерактивное поле с выборами вариантов заполнения «Выбор КУ и КК» имеет следующие варианты:

- «Без КУ и КК», при выборе которого таблицы «Коэффициент усиления усилителя» и «Коэффициент калибровки» будут не доступны для редактирования и в ходе расчётов $U_{с+ш}$ и $U_{ш}$ не будут изменены.

- «Имеющиеся КУ и КК», при выборе которого таблицы «Коэффициент усиления усилителя» и «Коэффициент калибровки» будут не доступны для редактирования, но будут заполнены коэффициентами усиления усилителя и коэффициент калибровки разработанной антенны соответственно. В ходе расчётов от $U_{с+ш}$ и $U_{ш}$ будет вычтен коэффициент усиления и прибавлен коэффициент калибровки.

- «Ввести вручную», при выборе которого таблицы «Коэффициент усиления усилителя» и «Коэффициент калибровки» будут доступны для редактирования. В ходе расчётов от $U_{с+ш}$ и $U_{ш}$ будет вычтен коэффициент усиления и прибавлен коэффициент калибровки.

При нажатии на кнопку «Рассчитать» происходит расчёт зон для каждой спектральной составляющей R_1 и R_2 для СВТ в целом по представленной в п. 3.2 методике и эти данные выводятся в таблицу «Результаты расчета» и в поле под ней. Алгоритм работы данной функции представлен на рисунках А.1, А.2 и А.3 приложения А.

При нажатии на кнопку «Очистить» происходит очистка всех таблиц и занесённых данных в переменные. Стоит отметить что расстояние R_0 и коэффициент g при запуске программы имеют значения 1 и 0,6 соответственно, но после очистки они становятся равными «0». Алгоритм работы данной функции представлен на рисунке Б.1 приложения Б.

Пример расчета зоны R_2 и последующей очистки данных представлен на рисунках 3.13 и 3.14.

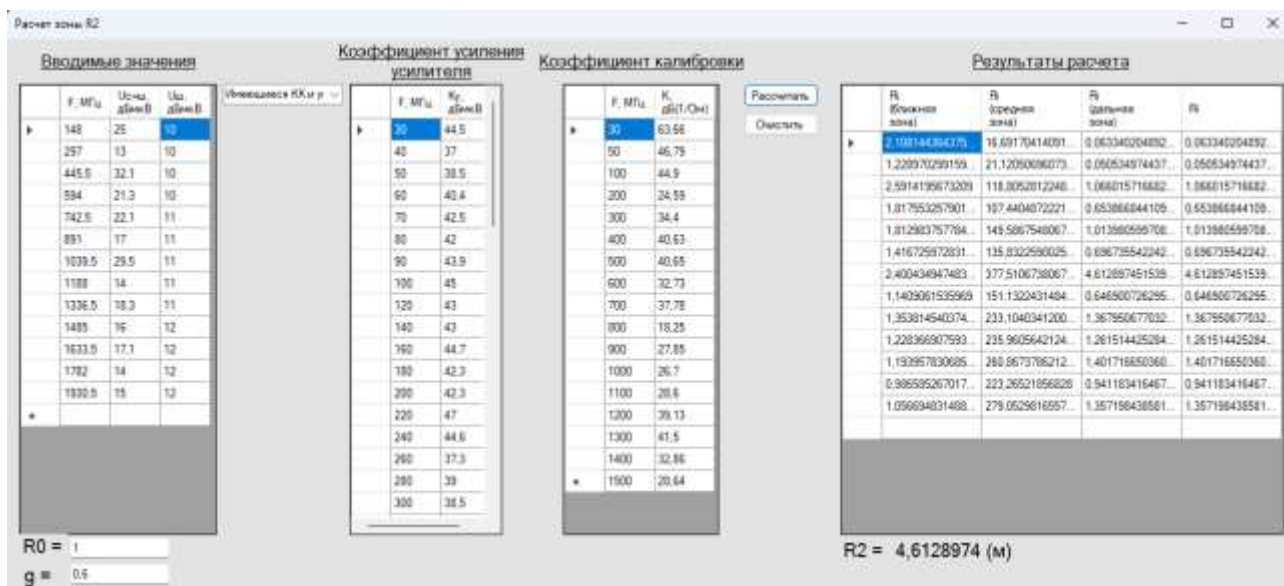


Рисунок 3.13 – Результаты расчёта, полученные с помощью расчётной программы

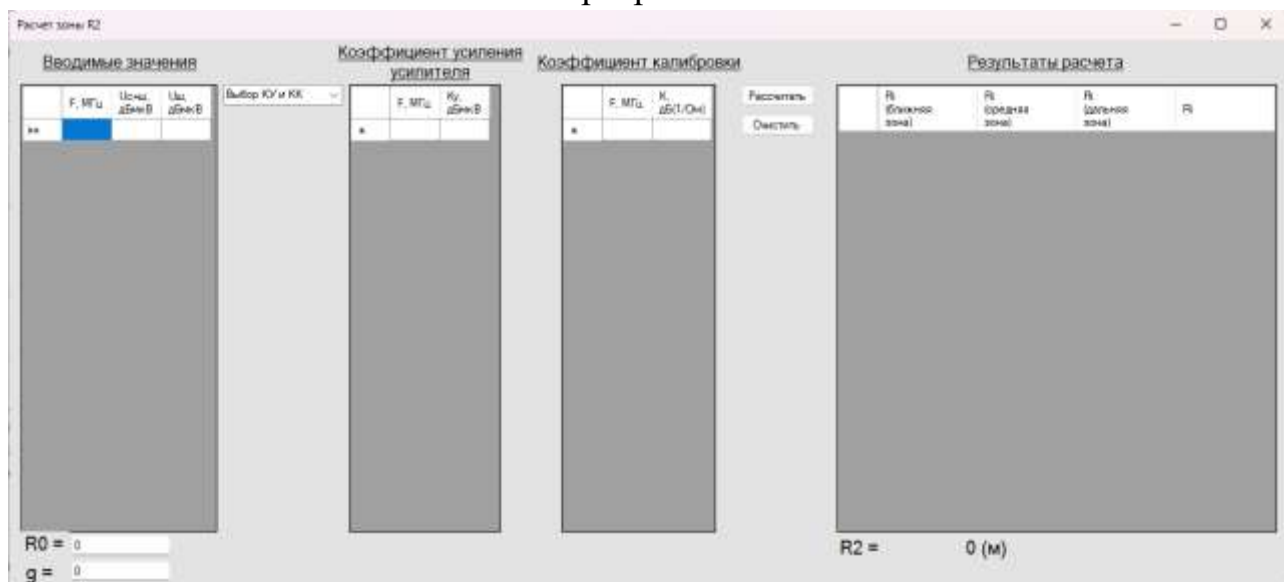


Рисунок 3.14 – Результат очистки данных

4 Измерение параметров дипольной антенны

4.1 Основные параметры измерительных антенн

Антенны представляют собой электромеханические конструкции из токопроводящих элементов, размеры и конфигурация которых определяют эффективность преобразования электрических сигналов в радиосигналы (для передающих антенн) и радиосигналов в электрические (для приемных антенн).

Возможности антенн, как приемных, так и передающих, определяются следующими электрическими характеристиками:

- диаграммой направленности и ее шириной;
- коэффициентом полезного действия;
- коэффициентом направленного действия;
- коэффициентом усиления;
- полосой частот.

Диаграмма направленности представляет собой графическое изображение уровня излучаемого (принимаемого) сигнала от угла поворота антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Диаграммы изображаются в прямоугольных и полярных координатах.

Диаграммы направленности могут иметь разнообразный и изрезанный характер, определяемый механической конструкцией и электрическими параметрами. Лепесток диаграммы направленности с максимумом мощности излучаемого или принимаемого электромагнитного поля называется главным или основным лепестком, остальные — боковыми и задними. Соотношение между величинами мощности основного лепестка по сравнению с остальными характеризует направленные свойства антенны. Ширина главного лепестка диаграммы измеряется углом между прямыми, проведенными из начала полярных координат до значений диаграммы, соответствующих половине максимальной мощности излучения или 0,7 напряжения электрического сигнала приемной антенны. Чем меньше ширина диаграммы направленности антенны, тем выше ее коэффициент направленного действия.

Коэффициент направленного действия (КНД) определяет величину энергетического выигрыша, который обеспечивает направленная антенна по сравнению с ненаправленной. Потери электрической энергии в антенне оцениваются коэффициентом полезного действия (КПД), равного отношению мощности сигнала на выходе реальной антенны к мощности сигнала идеальной антенны без потерь. Произведение этих двух коэффициентов определяет коэффициент усиления антенны (КУ). Так как $\text{КНД} > 1$, а $\text{КПД} < 1$, то коэффициент усиления в зависимости от значений сомножителей может теоретически принимать значения как меньше, так и больше 1. Чем выше КУ, тем больший энергетический эффект обеспечивает антенна, но тем точнее необходимо ориентировать направление основного лепестка на источник излучения.

Коэффициент усиления приёмной антенны – это число, показывающее, во сколько раз активная мощность на входе приёмника при данной антенне будет больше активной мощности на его входе в случае применения ненаправленной антенны [12].

4.2 Измерение характеристик антенного усилителя

При использовании разработанной дипольной антенны помимо предусилителя сигнала будет задействован усилитель, работающий в диапазоне от 30 МГц до 4 ГГц. Для последующих расчётов характеристик антенны необходимо замерить коэффициент усиления данного усилителя на каждой частоте и его собственный уровень шума.

Для проведения измерений был собран стенд, включающий в себя следующие компоненты:

- генератор сигнала;
- передающую антенну П6-151;
- приёмную антенну;
- антенный усилитель;
- анализатор спектра.

На рисунке 4.1 показано схематическое представление собранного измерительного стенда. Измерение проводилось в безэховой экранированной камере.

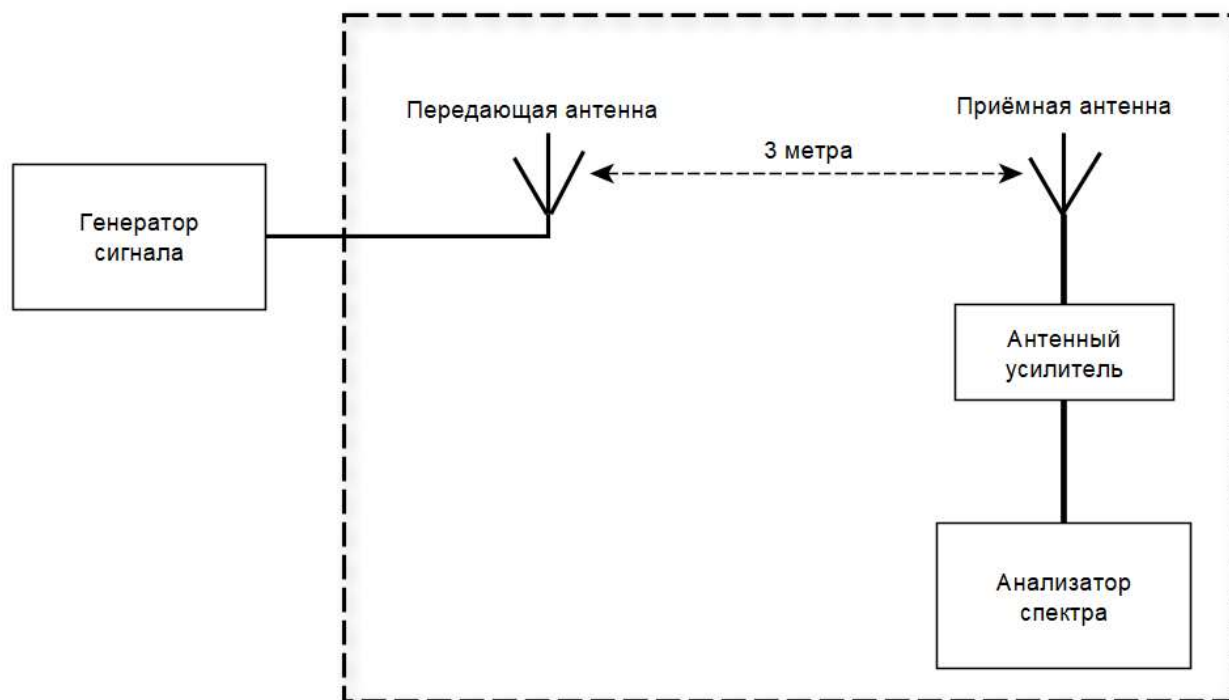


Рисунок 4.1 – Схема измерительного стенда

На первом этапе были проведены измерения сигнала на частотах от 30 до 100 МГц с шагом 10 МГц, от 100 до 1000 МГц с шагом 20 МГц и от 1000 до 1500 МГц с шагом 100 МГц без использования антенного усилителя. Сигнал, выставляемый на генераторе сигнала, был выставлен на уровне 110 дБмкВ для всех частот. Приёмная антенна была предварительно выставлена таким образом, чтобы уровень сигнала на её выходе имел максимальное значение (далее это будет доказано с помощью диаграммы направленности). Измерение проводилось при следующих настройках анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 2 МГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 3 кГц;
- время развертки (SWT) – 222 мс.

В результате проведённых измерений была получена таблица уровня сигнала в зависимости от частоты. Также по этой таблице был построен график,

отображающий частотную характеристику разработанной измерительной дипольной антенны. Результаты представлены в таблице 4.1 и на рисунке 4.2.

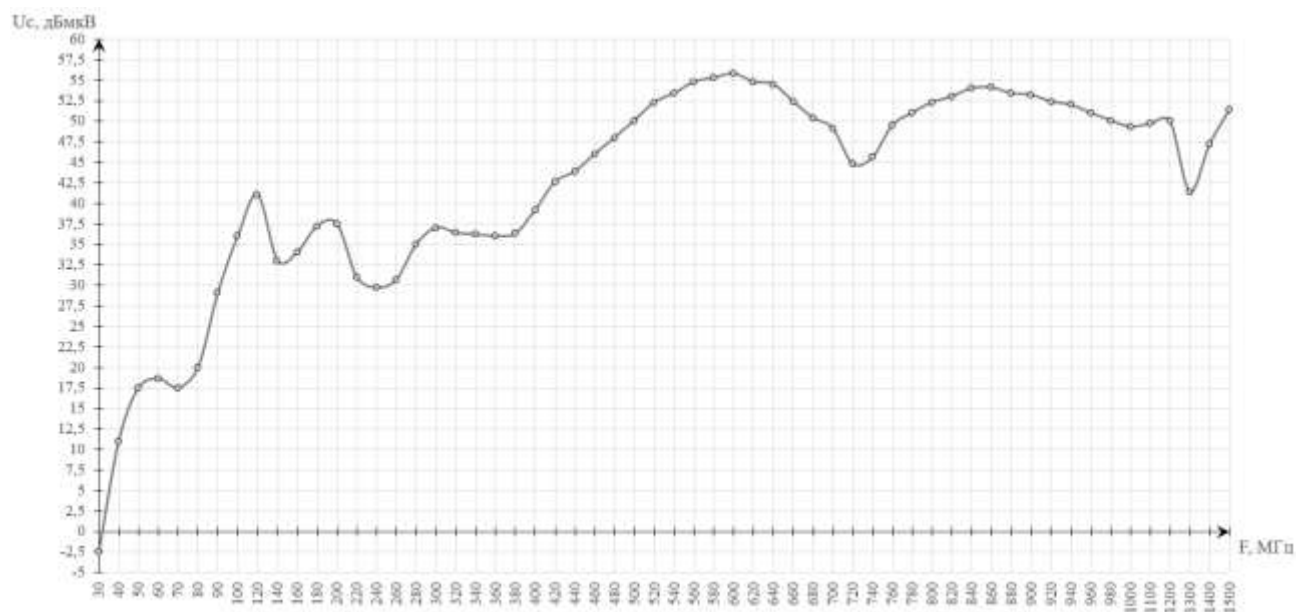


Рисунок 4.2 – Частотная характеристика разработанной антенны

На втором этапе было выполнено аналогичное измерение, но уже с использованием антенного усилителя. Уровень сигнала, выставляемый на генераторе, был выставлен на том же уровне. Положение приёмной антенны не изменялось относительно предыдущего измерения также, как и настройки анализатора спектра. Результат измерений был внесён в таблицу 4.1 и по этим данным построена частотная характеристика разработанной антенны с антенным усилителем. Результат представлен на рисунке 4.3.

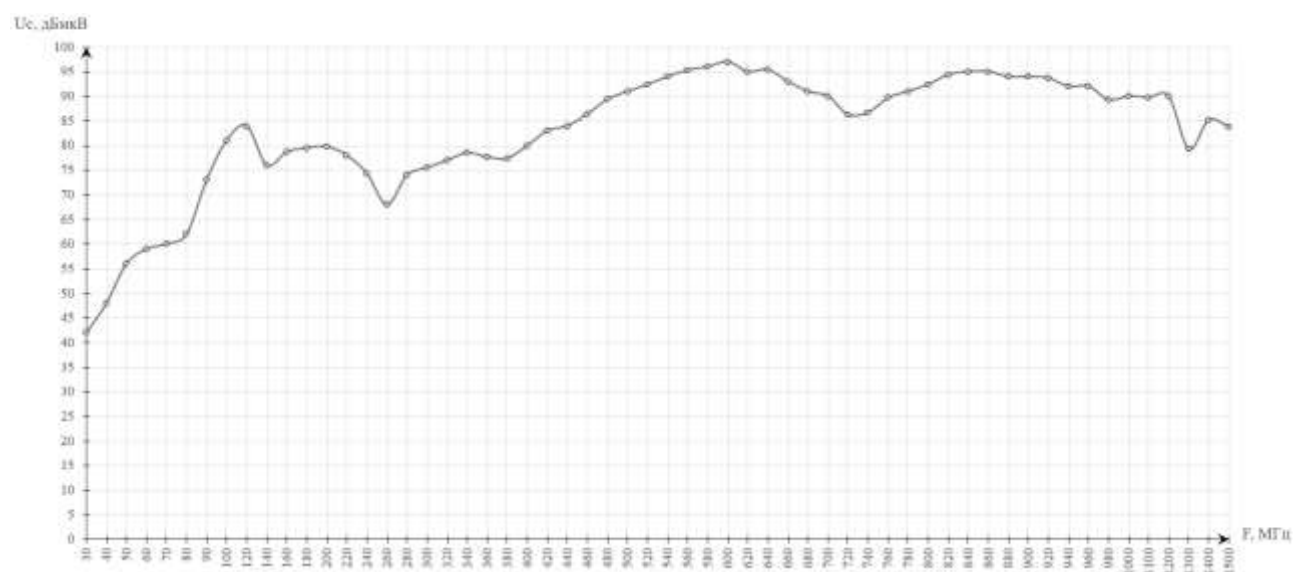


Рисунок 4.3 – Частотная характеристика разработанной антенны с использованием антенного усилителя

Таблица 4.1 – Зависимость уровня сигнала от частоты без использования антенного усилителя и с ним

Частота	U _c , дБмкВ	
	Без антенного усилителя	С антенным усилителем
30	-2,5	42
40	11	48
50	17,5	56
60	18,6	59
70	17,5	60
80	20	62
90	29,1	73
100	36	81
120	41	84
140	33	76
160	34	78,7
180	37,2	79,5
200	37,5	79,8
220	31	78
240	29,7	74,3
260	30,7	68
280	35	74
300	37	75,5
320	36,4	77
340	36,2	78,5
360	36	77,7
380	36,3	77,4
400	39,2	80
420	42,58	83
440	43,9	84
460	46	86,4
480	48	89,4
500	50,1	91
520	52,3	92,4
540	53,4	94
560	54,8	95,3
580	55,3	96
600	55,8	97
620	54,8	95
640	54,5	95,4
660	52,4	93
680	50,4	91

Продолжение таблицы 4.1

Частота	U _c , дБмкВ	
	Без антенного усилителя	Без антенного усилителя
700	49,1	90
720	44,8	86,3
740	45,6	86,7
760	49,5	89,7
780	51	91
800	52,3	92,4
820	53	94,4
840	54	95
860	54,1	95
880	53,4	94
900	53,2	94
920	52,4	93,7
940	52	92
960	51	92
980	50,1	89,3
1000	49,3	90
1100	49,7	89,8
1200	50	90
1300	41,4	79,3
1400	47,2	85,2
1500	51,4	83,8

При сравнении двух полученных графика, представленных на рисунках 4.2 и 4.3, можно заметить, что их форма одинаковая, что в свою очередь означает что антенный усилитель в диапазоне от 30 до 1500 МГц не имеет собственных искажений. Это также можно проверить, измерив уровень шумов и использованием усилителя и без него.

Для наглядности того, как работает антенный усилитель были сделаны скриншоты экрана анализатора спектра на частоте 600 МГц, так как на данной частоте был зафиксирован максимум уровня сигнала как при использовании усилителя, так и без него. Данные скриншоты представлены на рисунках 4.4 и 4.5.

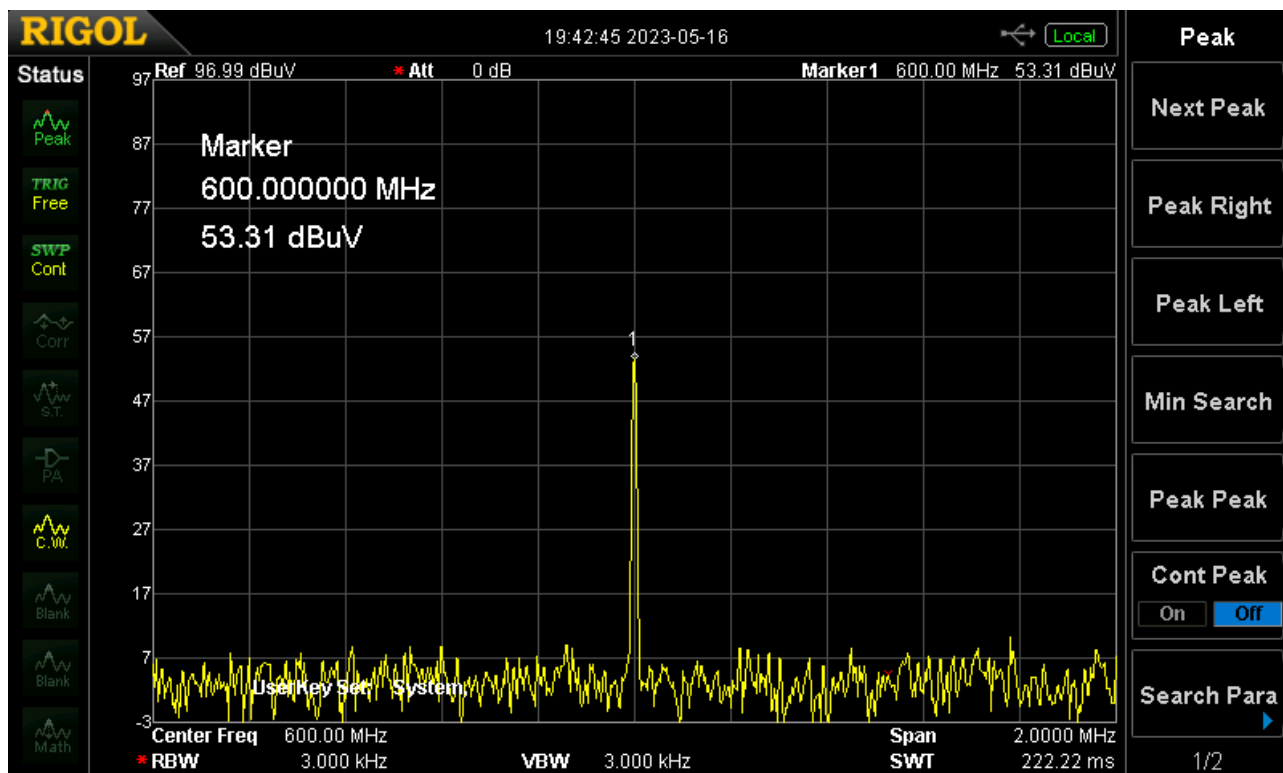


Рисунок 4.4 – Уровень сигнала на частоте 600 МГц без использования усилителя

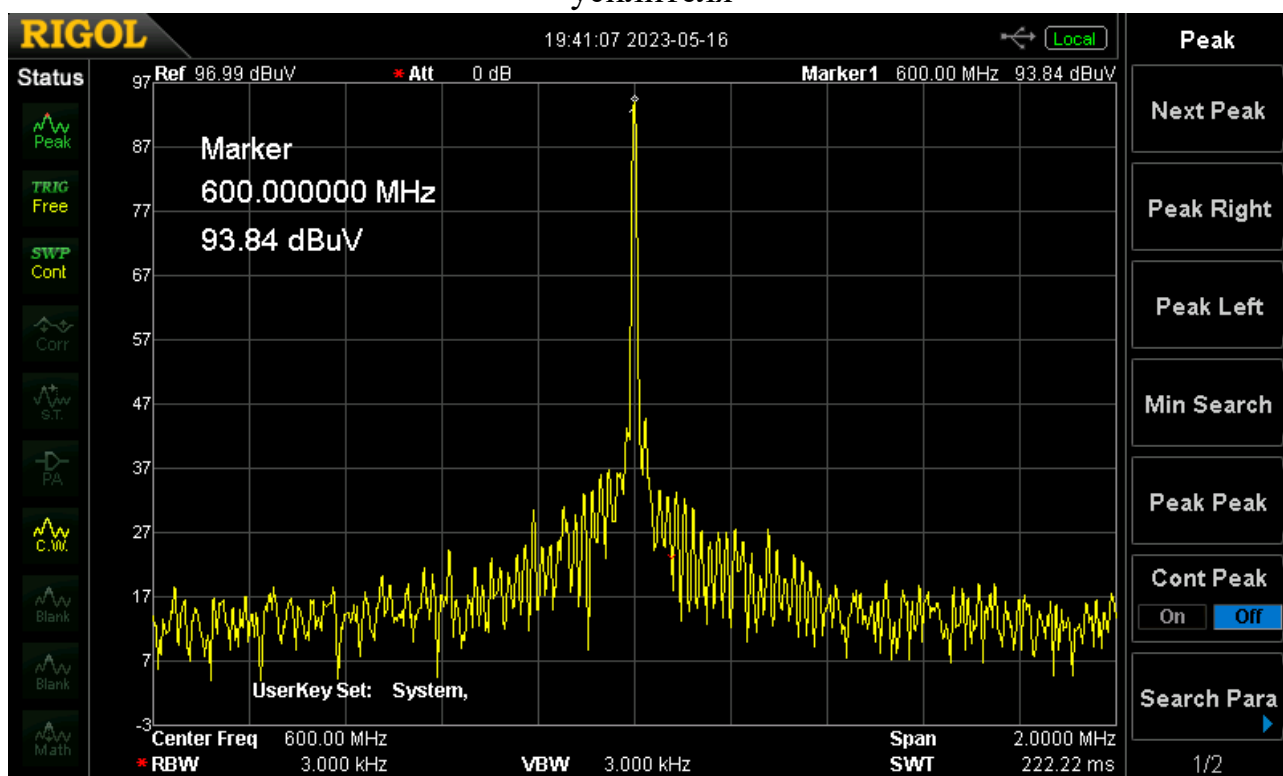


Рисунок 4.5 – Уровень сигнала на частоте 600 МГц с использованием усилителя

По полученным данным, представленным в таблице 4.1, можно построить частотную характеристику антенного усилителя. Для этого достаточно из

измеренного U_c с использованием усилителя вычесть U_c без использования усилителя.

Частотная характеристика усилителя представляет собой зависимость коэффициента усиления усилителя от частоты входного сигнала. Она показывает, как усилитель изменяет уровень входного сигнала на разных частотах.

Частотная характеристика усилителя была отображена на графике зависимости усиления сигнала в дБмкВ от частоты в МГц. Результат представлен на рисунке 4.6. Также данные результаты были занесены в таблицу 4.2, так как они необходимы для проведения измерений.

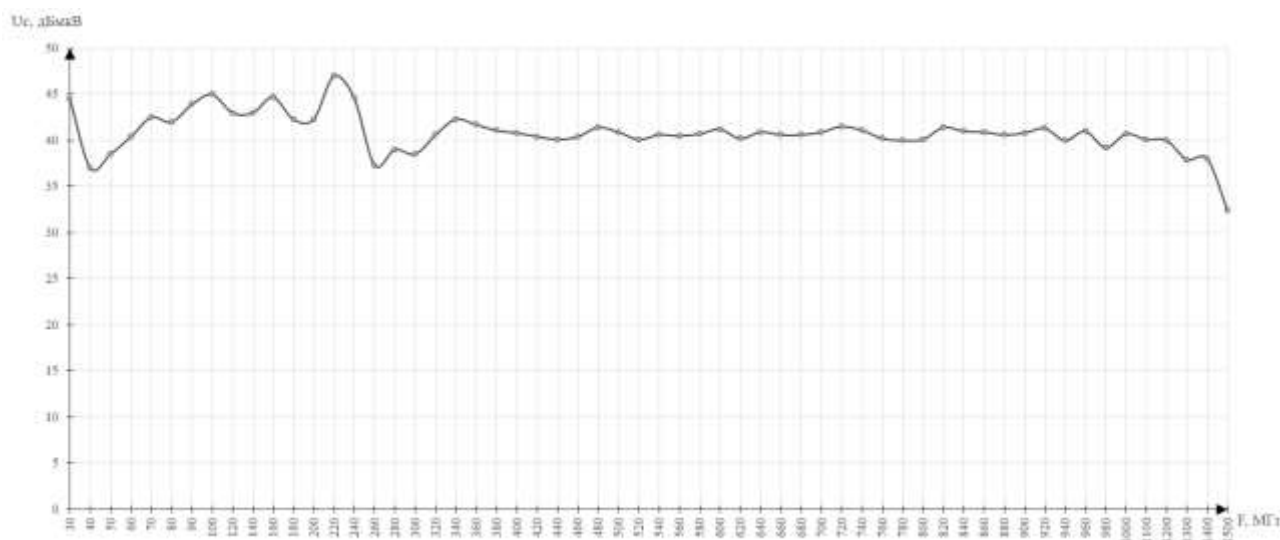


Рисунок 4.6 – График зависимости усиления от частоты

Таблица 4.2 – Коэффициенты усиления антенного усилителя

Частота, МГц	Коэффициент усиления, дБмкВ
30	44,5
40	37
50	38,5
60	40,4
70	42,5
80	42
90	43,9
100	45
120	43
140	43
160	44,7
180	42,3

Продолжение таблицы 4.2

Частота, МГц	Коэффициент усиления, дБмкВ
200	42,3
220	47
240	44,6
260	37,3
280	39
300	38,5
320	40,6
340	42,3
360	41,7
380	41,1
400	40,8
420	40,42
440	40,1
460	40,4
480	41,4
500	40,9
520	40,1
540	40,6
560	40,5
580	40,7
600	41,2
620	40,2
640	40,9
660	40,6
680	40,6
700	40,9
720	41,5
740	41,1
760	40,2
780	40
800	40,1
820	41,4
840	41
860	40,9
880	40,6
900	40,8
920	41,3
940	40
960	41
980	39,2

Продолжение таблицы 4.2

Частота, МГц	Коэффициент усиления, дБмкВ
1000	40,7
1100	40,1
1200	40
1300	37,9
1400	38
1500	32,4

Был измерен собственный шум усилителя. Сравнение уровня шума без усилителя и с ним отображено на графике, представленном на рисунке 4.7.

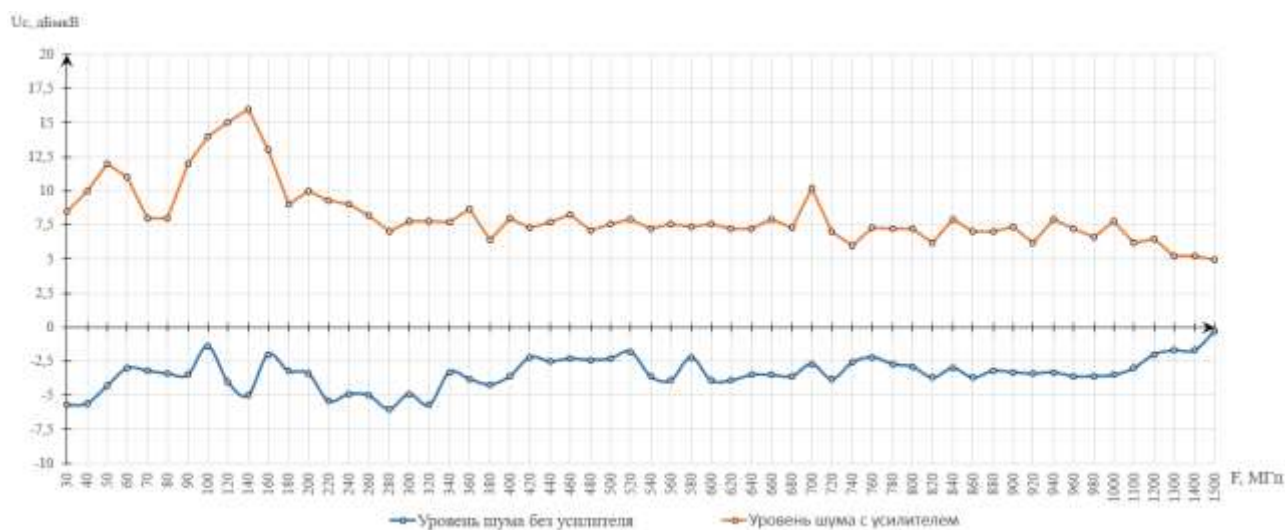


Рисунок 4.7 – Уровень шума без и с антенным усилителем

Проанализировав представленный график, можно сделать вывод, что уровень шумов антенного усилителя не превышает 15 дБмкВ в диапазоне частот от 180 до 1500 МГц, что характеризует данный усилитель в этом диапазоне как малошумящий. В диапазоне частот от 30 до 180 МГц собственный шум антенного усилителя превышает уровень в 15 дБмкВ, но не вызывает заметных искажений сигнала, поэтому может быть использован в рамках лабораторного практикума.

4.2 Измерение характеристик измерительной антенны

4.2.1 Поиск максимума и минимума рабочего частотного диапазона разработанной измерительной антенны

На первом этапе измерений характеристик был проверен рабочий диапазон разработанной антенны. Данное измерение проводилось с помощью двух излучающих антенн: П6-151, с помощью которой был определён максимальный рабочий диапазон, и ЭЛ-01, с помощью которой определён минимальный рабочий диапазон.

Так как антенный усилитель работает в диапазоне частот от 30 до 4000 МГц, данное измерение проводилось без него. Также для определения максимальной частоты, на которой можно обнаружить сигнал с помощью разработанной измерительной антенны, был использован другой анализатор спектра, так как рабочий диапазон частот у анализатора спектра фирмы RIGOL до 1,5 ГГц.

Минимальная частота, на которой можно обнаружить сигнал, была определена экспериментальным методом с помощью дополнительного функционала генератора, позволяющего генерировать сигнал меньше его рабочего диапазона. В этом случае уровень сигнала на генераторе задавался не в дБмкВ, а в Вольтах. Был выбран уровень, равный 3 В. Стоит отметить, что поиск нижней границы был выполнен в непосредственной близости от передающей антенны, так как её основное предназначение – это измерение магнитного поля, поэтому её передающие свойства не являются идеальными. Поиск проводился при следующих настройках анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 5 кГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 10 Гц;
- время развертки (SWT) – 380 мс.

При определении нижней границы диапазона поиск был начат с сигнала частотой 30 кГц и производился при помощи уменьшения частоты с шагом 5 кГц.

После достижения 5 кГц сигнал не был обнаружен, поэтому было принято решение прибавлять частоту с шагом 1 кГц. При достижении 9 кГц был обнаружен положительный пик, что означает, что минимальная частота сигнала, которую можно обнаружить с помощью разработанной антенны, составляет 9 кГц. Данная характеристика соответствует минимальным требованиям технического задания, поэтому дальнейшее уточнение минимальной частоты рабочего диапазона не требуется. Обнаруженный сигнал на частоте 9 кГц представлен на рисунке 4.8.

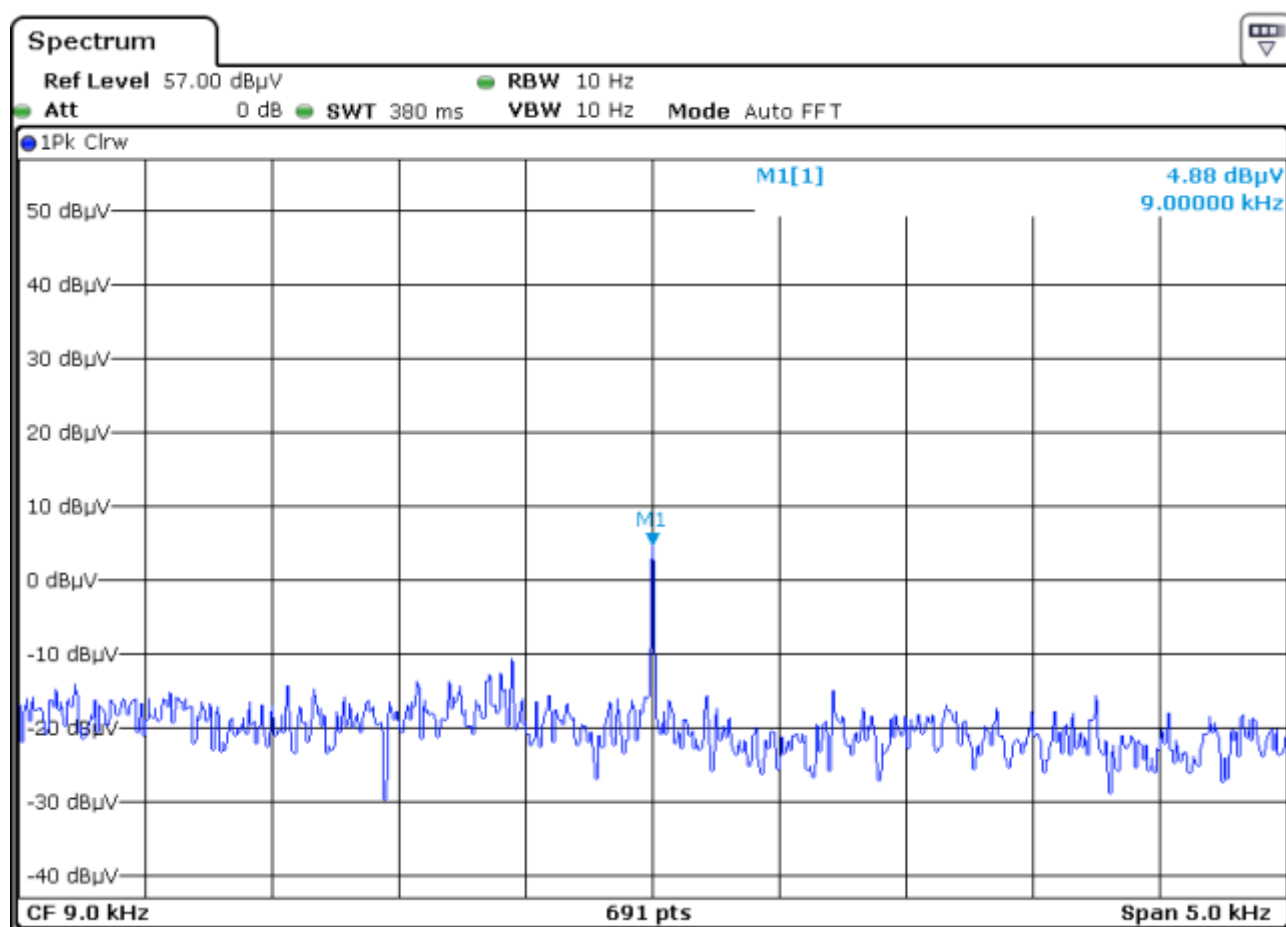


Рисунок 4.8 – Обнаруженный сигнал на частоте 9 кГц

Методика обнаружения максимальной частоты, на которой можно обнаружить сигнал с помощью разработанной антенны, схожа с обнаружением минимальной частоты, за исключением настроек анализатора спектра, расстоянием до передающей антенны и самой передающей антенны.

При обнаружении максимальной частоты передающая антенна была расположена на расстоянии 3 метра и установлены следующие настройки анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 1 МГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 1 кГц;
- время развертки (SWT) – 50 мс.

Поиск максимальной частоты рабочего диапазона разработанной антенны был также выполнен экспериментальным методом подбора с помощью увеличения частоты генерируемого сигнала на генераторе с шагом 100 МГц начиная с частоты 1500 МГц. Данная частота выбрана в качестве начальной, так как при измерении характеристик антенного усилителя было доказано, что разработанная антенна способна принимать сигнал на данной частоте. Уровень передаваемого с генератора сигнала был выбран равным 110 дБмкВ, так как данный уровень способен компенсировать неидеальные передающие свойства измерительной антенны П6-151 и не затухнет в среде распространения.

Во время поиска рабочего максимума антенны, при достижении частоты сигнала 2100 МГц на передающей антенне сигнал на приёмной антенне не был зафиксирован, но при этом на предыдущем шаге, когда сигнал передавался на частоте 2000 МГц, на анализаторе спектра, к которому подключена разработанная антенна, был обнаружен положительный пик на этой же частоте.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная антенна способна принимать сигнал частотой до 2000 МГц, что является необходимым максимумом из технических требований.

Обнаруженный сигнал на частоте 2000 МГц представлен на рисунке 4.9.

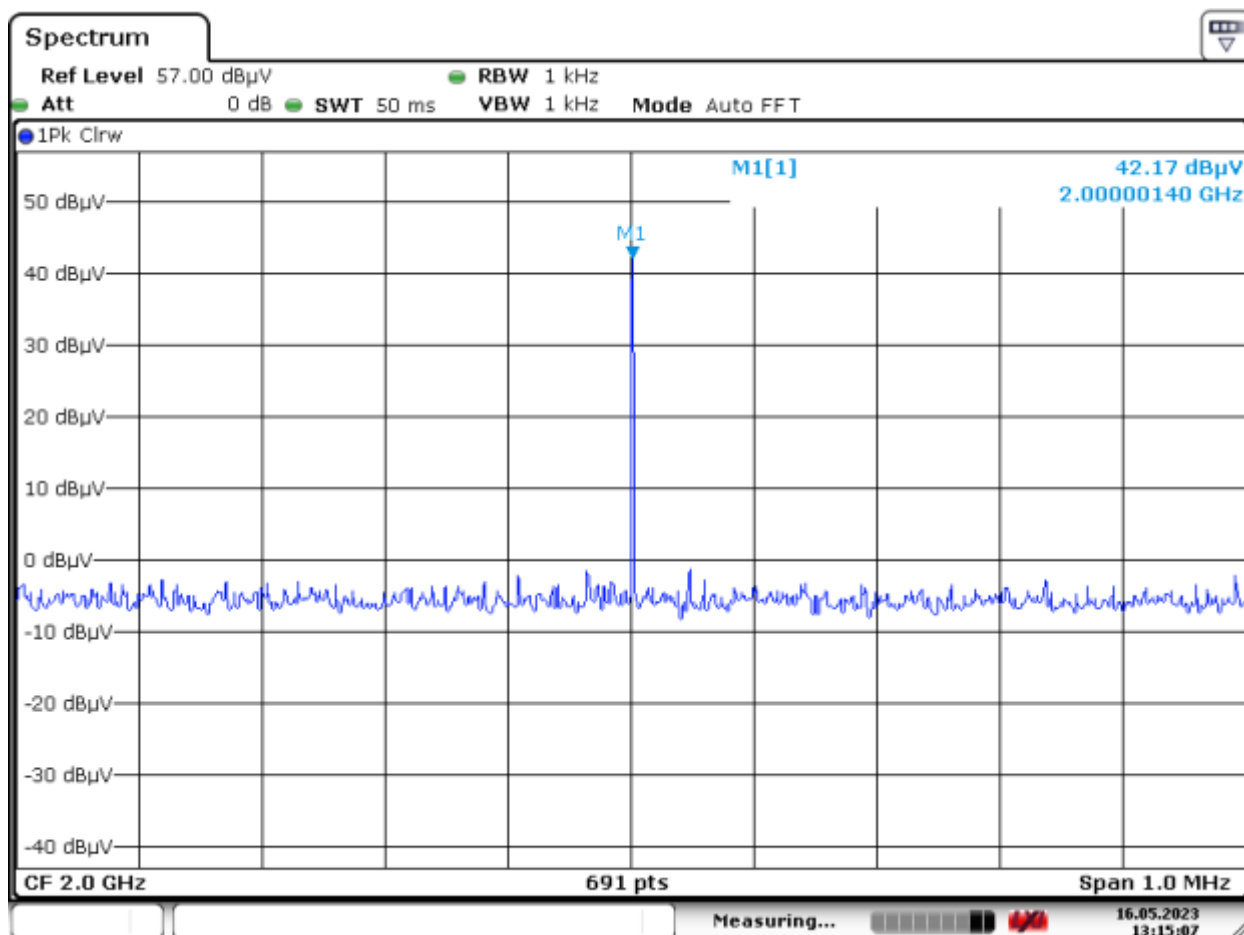


Рисунок 4.9 – Обнаруженный сигнал на частоте 2000 МГц

Все остальные измерения проводились с учётом ограничений рабочего диапазона частот антенного усилителя и предоставленного анализатора спектра.

4.2.2 Определение коэффициента калибровки разработанной измерительной антенны

Коэффициент калибровки антенны используется для корректировки измерений мощности сигнала, получаемых при использовании антенны. Он позволяет учесть потери мощности сигнала, связанные с характеристиками антенны, такими как ее направленность, коэффициент усиления и т.д. Коэффициент калибровки антенны может быть использован для определения точной мощности сигнала, принимаемого антенной, что является важным параметром при проведении измерений. Определение данной характеристики необходимо, так как она будет использована при расчётах зоны R_2 .

Коэффициент калибровки антенны – отношение напряженности электрического поля плоской волны, действующей на антенну, к напряжению, наводимому в определенной нагрузке (обычно 50 Ом), подключенной к антенне [13].

Для определения коэффициента калибровки разработанной антенны был использован экспериментальный метод, основанный на коэффициентах калибровки поверенной антенны АДА-9.

Суть метода заключается в следующем: проводится измерение уровня сигнала, полученного с помощью генератора, с использованием антенны АДА-9 в качестве эталонной и анализатора спектра, далее проводятся те же самые измерения уровней сигнала на тех же частотах и на том же удалении от передающей антенны с использованием разработанной дипольной антенны. К значениям уровня сигнала, полученным в ходе эксперимента с использованием антенны АДА-9, прибавляется коэффициент калибровки антенны АДА-9, для того чтобы получить точные значения сигнала на всех частотах. Так как при определении коэффициента калибровки должен учитываться коэффициент усиления усилителя, то на следующем шаге из полученных с использованием разработанной антенны и антенного усилителя значений уровня сигнала должен быть вычтен коэффициент усиления антенного усилителя. На последнем шаге из полученных точных значений уровня сигнала должен быть вычтен уровень сигнала, полученный с использованием разработанной антенны.

При использовании данного метода была учтена следующая особенность: при использовании разных длин кабеля могут быть потери, которые составляют от 1 дБ и более в выбранном диапазоне частот от 30 МГц до 1500 МГц. Так как при измерениях с помощью разработанной антенны будет использован выносной антенный усилитель, подключение которого подразумевает использование ещё одного кабеля (между антенной и усилителем), поэтому в ходе измерений с помощью антенны АДА-9 был использован переходник для соединения двух кабелей, чтобы длина кабеля при использовании двух разных антенн являлась одинаковой.

При поверке антенны АДА-9 погрешность коэффициента калибровки составляет плюс/минус 2 дБ, учитывая это и возможных потерь в тракте «приёмная антенна» – «кабель» – «антенный усилитель» – «кабель» – «вход приёмника», а также несовершенство антенного усилителя, влияние которого составляет 5 дБ (исходя из его характеристик), погрешность в данном методе составляет примерно плюс/минус 10 дБ. Данная погрешность не повлияет на ход измерений, так как разрабатываемая антенна не предназначена для точных измерений, а служит средством для получения навыков работы с измерительными приборами.

При проведении измерений коэффициента калибровки были установлены следующие настройки анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 1 МГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 1 кГц;
- время развертки (SWT) – 50 мс.

Результаты измерений и расчёта представлены в таблице 4.3. Полученные значения коэффициента калибровки занесены в таблицу 4.4.

Таблица 4.3 – Результаты измерений и расчёта коэффициента калибровки экспериментальным методом

АДА-9				Разработанная дипольная антенна				
F, МГц	U _c , дБмкВ	K, дБ (1/Ом)	U _c +K, дБмкВ	F, МГц	U _c , дБмкВ	K _{усл.} , дБмкВ	U _c - K _{усл.} , дБмкВ	K, дБ (1/Ом)
30	43,9	12,7	56,6	30	37,44	44,5	37,44 - 44,5 = = -7,06	56,6 - - (-7,06) = = 63,66
50	55,8	12,7	68,5	50	60,21	38,5	21,71	46,79
100	63,56	14	77,56	100	77,66	45	32,66	44,9
200	53,6	14,1	67,7	200	85,41	42,3	43,11	24,59
300	53,35	13,2	66,55	300	70,65	38,5	32,15	34,4
400	67,54	10,2	77,74	400	77,91	40,8	37,11	40,63
500	83,61	7,9	91,51	500	91,76	40,9	50,86	40,65
600	81,33	5,9	87,23	600	95,7	41,2	54,5	32,73
700	79,89	7,5	87,39	700	90,51	40,9	49,61	37,78
800	62	10,9	72,9	800	94,75	40,1	54,65	18,25
900	67	13,8	80,8	900	93,75	40,8	52,95	27,85
1000	56,6	15	71,6	1000	85,6	40,7	44,9	26,7

Продолжение таблицы 4.3

АДА-9				Разработанная дипольная антенна				
F, МГц	U _c , дБмкВ	K, дБ (1/Ом)	U _c +K, дБмкВ	F, МГц	U _c , дБмкВ	K _{усл.} , дБмкВ	U _c - K _{усл.} , дБмкВ	K, дБ (1/Ом)
1100	64	17,2	81,2	1100	92,7	40,1	52,6	28,6
1200	69,53	20,1	89,63	1200	90,5	40	50,5	39,13
1300	65,2	19,9	85,1	1300	81,5	37,9	43,6	41,5
1400	61,2	21,8	83	1400	88,14	38	50,14	32,86
1500	59,91	22	81,91	1500	85,67	32,4	53,27	28,64

Коэффициент калибровки и коэффициент усиления антенны связаны соотношением:

$$K = 20 \cdot \lg f - G_i - 29,774, \quad (10)$$

где K – коэффициент калибровки, дБ;

G_i – коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя, дБ;

f – частота, МГц.

Данная формула представлена в рекомендации МСЭ-R SM.1875-2 [14] и справедлива для 50-омных систем.

Таким образом, определив коэффициент калибровки можно определить коэффициент усиления антенны, который также может быть полезен при проведении расчётов. Рассчитанные коэффициенты усиления на частотах в диапазоне от 30 до 1500 МГц занесены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Коэффициенты калибровки и коэффициенты усиления разработанной измерительной антенны

F, МГц	K, дБ (1/Ом)	G, дБ (1/Ом)
30	63,66	-63,89
50	46,79	-42,58
100	44,9	-34,67
200	24,59	-8,34
300	34,4	-14,63
400	40,63	-18,36
500	40,65	-16,44
600	32,73	-6,94
700	37,78	-10,65

Продолжение таблицы 4.4

F, МГц	K, дБ (1/Ом)	G, дБ (1/Ом)
800	18,25	10,04
900	27,85	1,46
1000	26,7	3,53
1100	28,6	2,45
1200	39,13	-7,32
1300	41,5	-9,00
1400	32,86	0,29
1500	28,64	5,11

4.2.3 Определение диаграммы направленности разработанной измерительной антенны

Диаграмма направленности одна из основных характеристик любой антенны. Из нее вытекает множество вспомогательных параметров и такая важная энергетическая характеристика как коэффициент направленного действия.

Диаграмма направленности (ДН) – это зависимость напряженности поля, создаваемого антенной на достаточно большом расстоянии, от углов наблюдения в пространстве.

Для получения диаграммы направленности в измерительном стенде, представленном на рисунке 4.1, был заменён штатив, на который крепилась разработанная антенна, на штатив с возможностью изменять угол поворота антенны.

Измерения уровня сигнала в зависимости от угла поворота антенны в горизонтальной плоскости проводились с шагом 5° и на частоте сигнала, равной 600 МГц, так как на данной частоте в ходе предыдущих измерений был зафиксирован максимальный резонанс разработанной антенны. Также стоит отметить, что измерение проводилось без использования антенного усилителя, так как он значительно повлияет на полученные результаты и лепестки на диаграмме направленности будут менее выражены.

При проведении измерений диаграммы направленности были установлены следующие настройки анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 1 МГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 30 кГц;
- время развертки (SWT) – 78 мс.

Результаты измерений и расчёта представлены в таблице Д.1 приложения Д. Полученная и теоретическая диаграммы направленности представлены на рисунке 4.10.

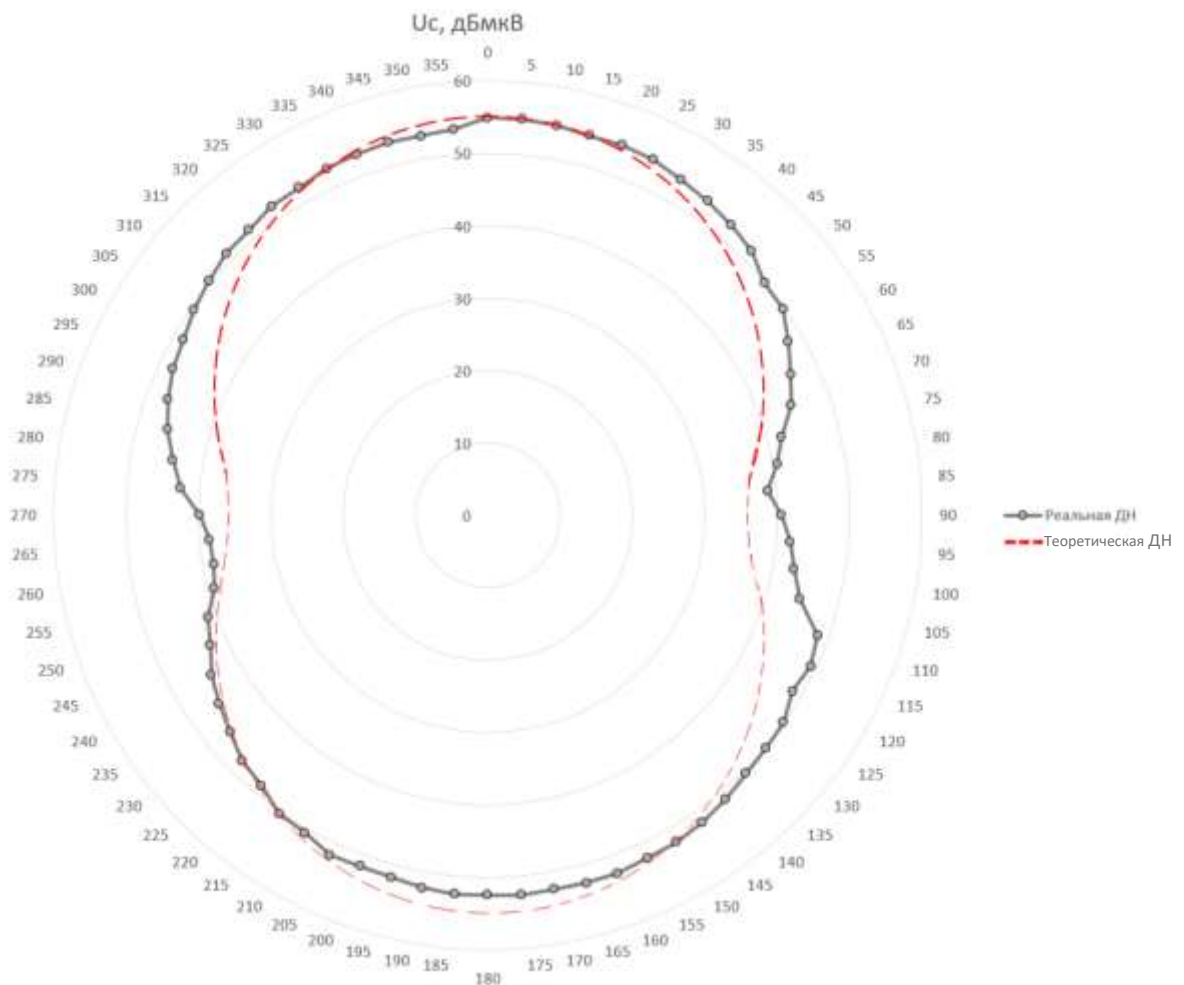


Рисунок 4.10 – Диаграмма направленности разработанной антенны

Из полученной диаграммы направленности можно сделать вывод, что разработанная антенна не является направленной, есть ярко выраженные основной и обратный лепестки. Максимум, зафиксированный на основном лепестке равен 54,87 дБмкВ, а на обратном 52,6 дБмкВ.

По полученным данным можно рассчитать коэффициент направленного действия разработанной антенны.

Коэффициент направленного действия (КНД) – это отношение квадрата напряженности поля, созданного в главном направлении (E_0^2), к среднему значению квадрата напряженности поля по всем направлениям (E_{cp}^2). Как понятно из определения, КНД характеризует направленные свойства антенны. КНД не учитывает потери, так как определяется по излучаемой мощности. Расчет КНД выполняется по следующей формуле:

$$D = \frac{E_0^2}{E_{cp}^2}. \quad (11)$$

Для приёмной антенны КНД показывает во сколько раз улучшится отношение сигнал/шум по мощности, при замене направленной антенны ненаправленной, если помехи приходят равномерно со всех направлений.

КНД разработанной антенне равен:

$$D = \frac{54,87^2}{48,814^2} = 1,26.$$

5 Проведение экспериментальных исследований с использованием программно-аппаратного комплекса

После разработки, сборки и измерения характеристик антенны и написания программы для расчёта требуемого радиуса контролируемой зоны R_2 были проведены экспериментальные исследования с использованием полученного программно-аппаратного комплекса, в ходе которых была проверена работоспособность антенны на реальном стенде и проведён расчёт требуемого радиуса контролируемой зоны R_2 для реального СВТ.

Исследования проводились в безэховой экранированной камере с использованием следующего оборудования:

- антенна, размещённая на расстоянии 1 метра от исследуемого объекта и закреплённая на диэлектрическом штативе;
- анализатор спектра;
- СВТ.

В качестве объектов для исследования были выбраны следующие интерфейсы СВТ:

- видеоинтерфейс VGA;
- видеоинтерфейс HDMI;
- последовательный интерфейс USB версии 2.0;
- сетевой интерфейс.

Данные интерфейсы были выбраны исходя из того, что лабораторный практикум будет проводиться без использования безэховой камеры, а информативный сигнал от выбранных интерфейсов легко распознать даже среди помех и других сигналов.

При проведении исследований были использованы 2 тестовых программы:

- тест для видеоинтерфейса;
- тест для носителей информации.

Тестовые программы предназначены для передачи по интерфейсам тест-сигнала, который применяется для создания имитационного опасного сигнала

такого уровня, чтобы его можно было уверенно выделить на фоне любых помех в канале либо придать определенную «окраску» тестовому сигналу для его надежного опознавания оператором или автоматикой исследовательских измерительных комплексов.

При исследовании видеоинтерфейсов СВТ была использована тестовая программа, которая способна генерировать тестовый сигнал для цифровых и аналоговых видеоинтерфейсов. Для цифровых видеоинтерфейсов данная программа воспроизводит две последовательности тестовых сигналов, которые соответствуют полностью чёрному изображению на мониторе и цифровому шуму, отображаемому на мониторе в виде пикселей со случайным цветом. Чёрный цвет отображается дольше, для того, чтобы при поиске сигнала на анализаторе точно выявить сигнал от видеоинтерфейса. Также последовательность, соответствующая чёрному цвету, на цифровом видеоинтерфейсе даёт большое соотношение сигнал/шум.

Для аналоговых видеоинтерфейсов программа также воспроизводит две последовательности тестовых сигналов, но вместо цифрового шума программа генерирует сигнал, который отображается на экране как последовательность чередующихся белых и черных пикселей. Последовательность, соответствующая чередованию белых и черных пикселей, на аналоговом видеоинтерфейсе даёт большое соотношение сигнал/шум.

Тестовая программа для носителей информации использовалась при исследовании USB 2.0 и сетевого интерфейса. Программа записывает на носитель информации файл, содержащий последовательность нулей и единиц. В качестве тестового сигнала была выбрана последовательность 01010101. При тестировании USB 2.0 интерфейса был выбран размер файла 2 Гбайта. При тестировании сетевого интерфейса программа для носителей информации была использована совместно с настроенным сетевым диском, размещённым на другом СВТ, который был подключен через локальную сеть к исследуемому СВТ.

Исследование видеointерфейса VGA проводилось при следующих настройках анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 10 МГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 100 кГц;
- время развертки (SWT) – 10 мс.

Частота первой гармоники обнаруженного сигнала от интерфейса VGA равна 74,25 МГц. Обнаруженный с помощью разработанной антенны информативный сигнал от СВТ на частоте 74,25 МГц представлен на рисунке 5.1.

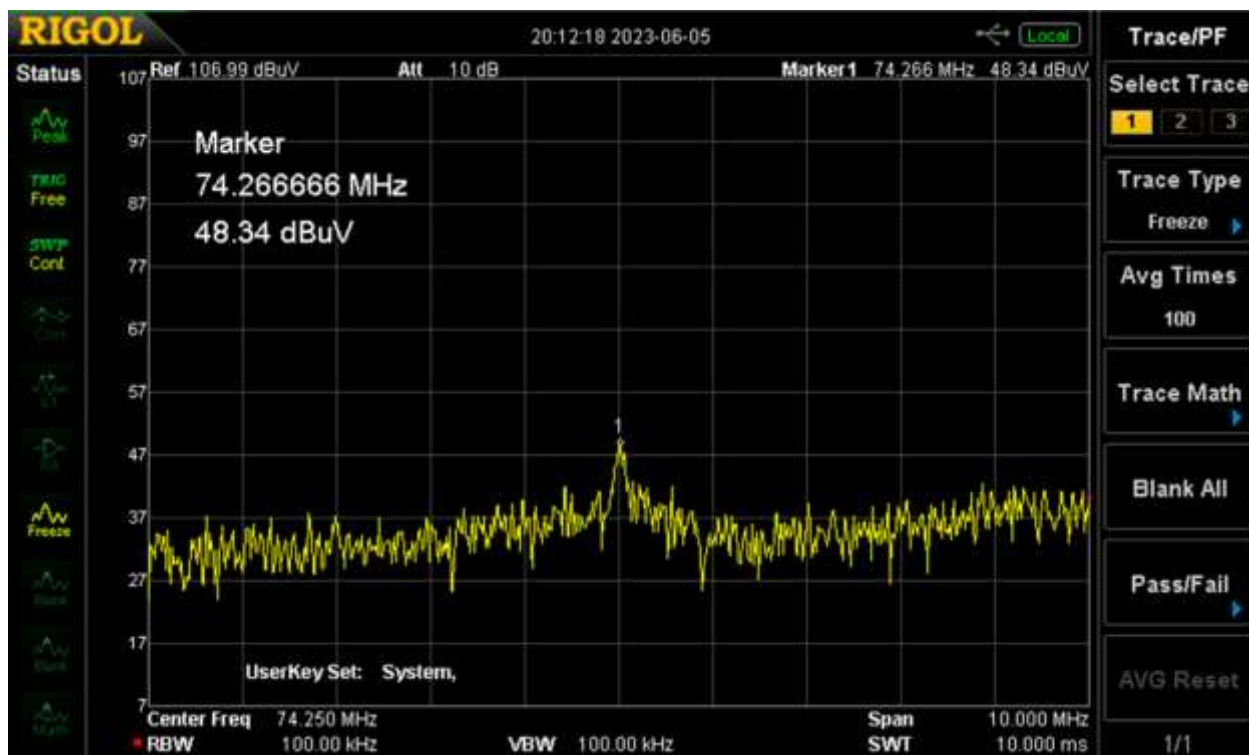


Рисунок 5.1 – Первая гармоника сигнала ПЭМИН от интерфейса VGA СВТ

Измеренные уровни сигнала и шума видеointерфейса VGA на всех обнаруженных гармониках были занесены в таблицу Е.1 приложения Е. Затем эти данные были использованы при расчёте контролируемой зоны R_2 от СВТ в разработанном программном обеспечении. Результаты расчёта зоны R_2 от СВТ включая интерфейс VGA представлены на рисунке 5.2.

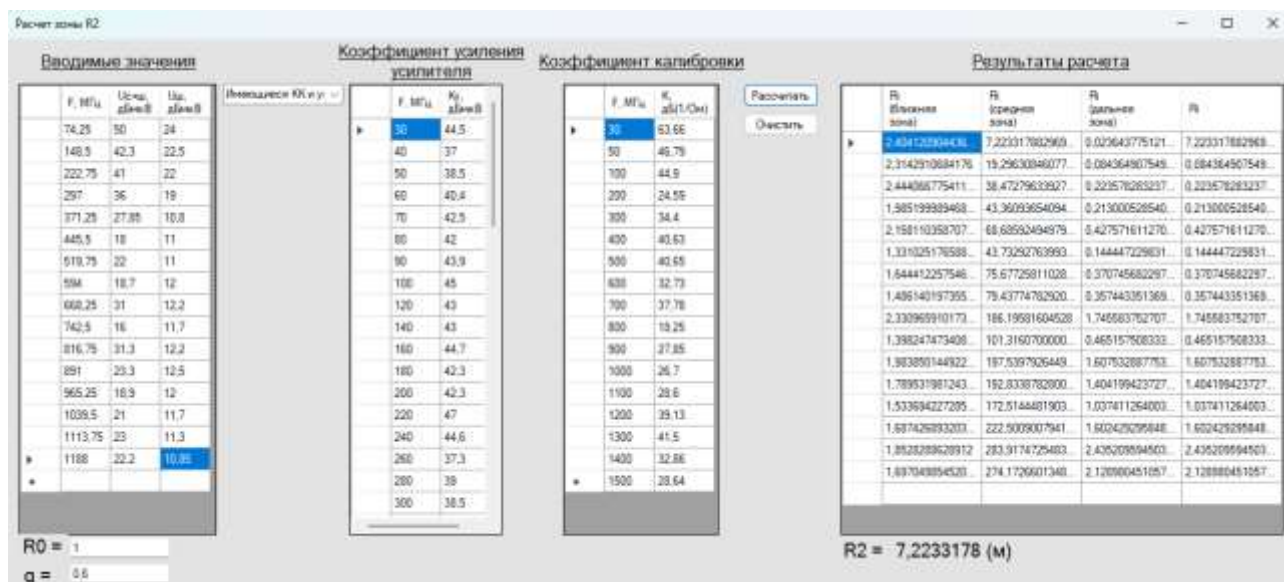


Рисунок 5.2 – Результат расчета зоны R_2 для интерфейса VGA

Исследование видеоинтерфейса HDMI проводилось при таких же настройках анализатора спектра. Частота первой гармоники обнаруженного сигнала от интерфейса HDMI равна 148,5 МГц. Обнаруженный с помощью разработанной антенны информативный сигнал от СВТ на частоте 148,5 МГц представлен на рисунке 5.3.

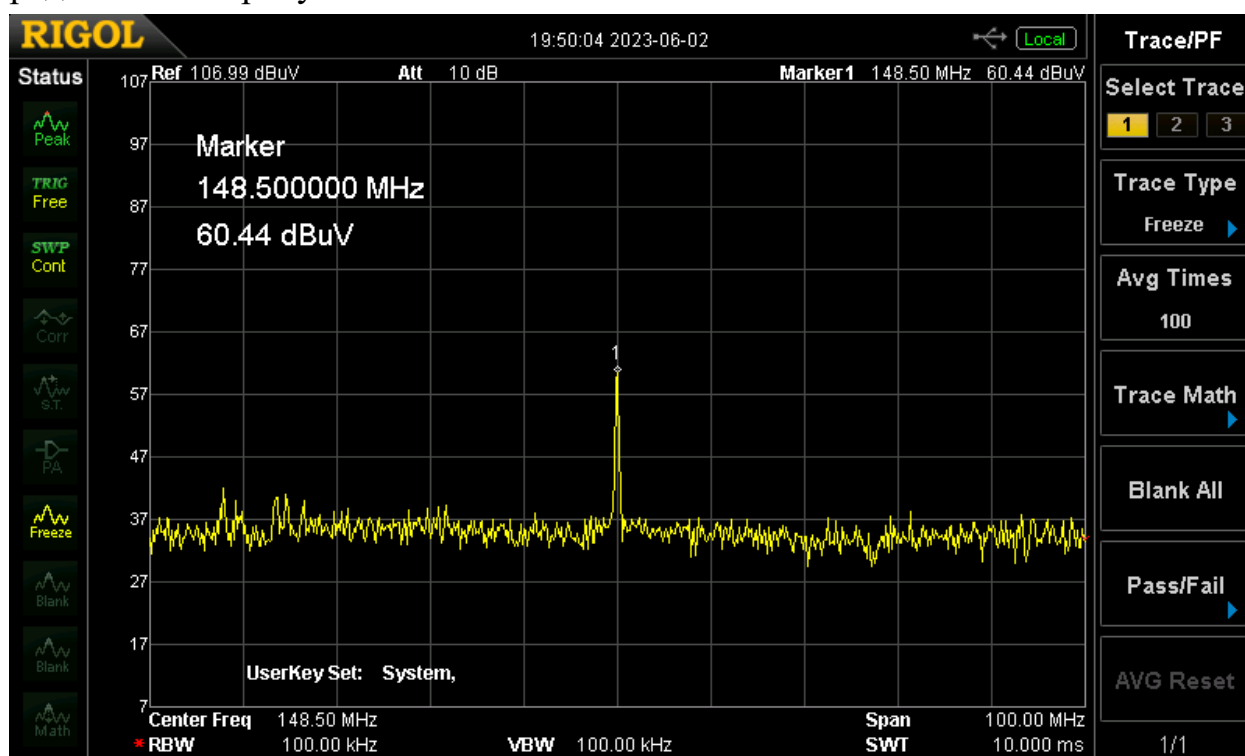
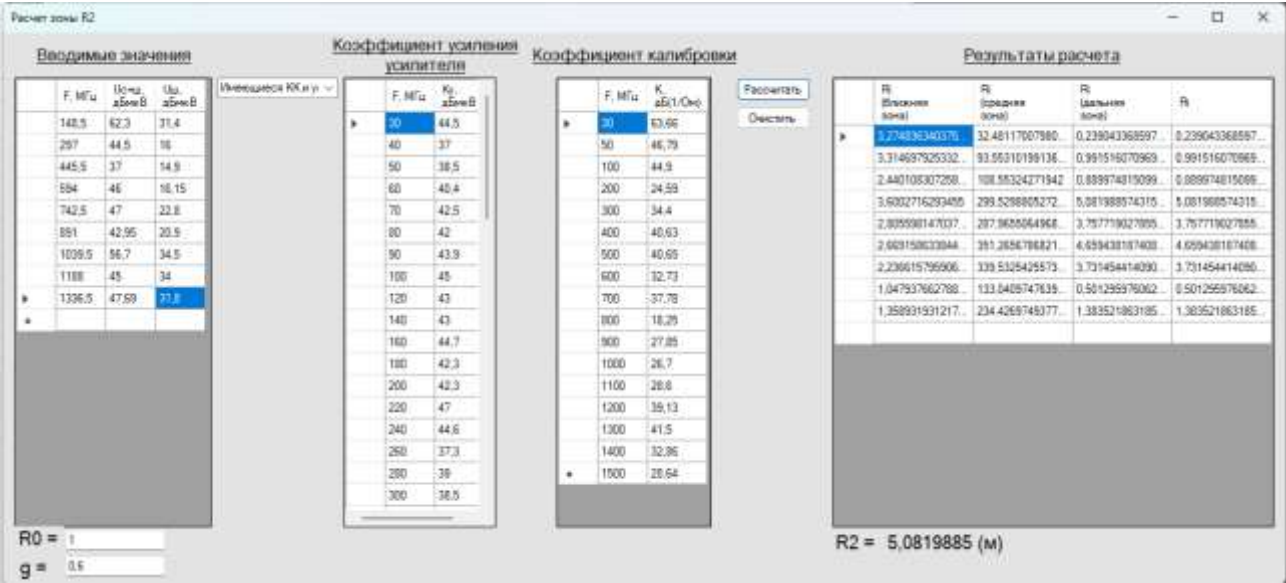


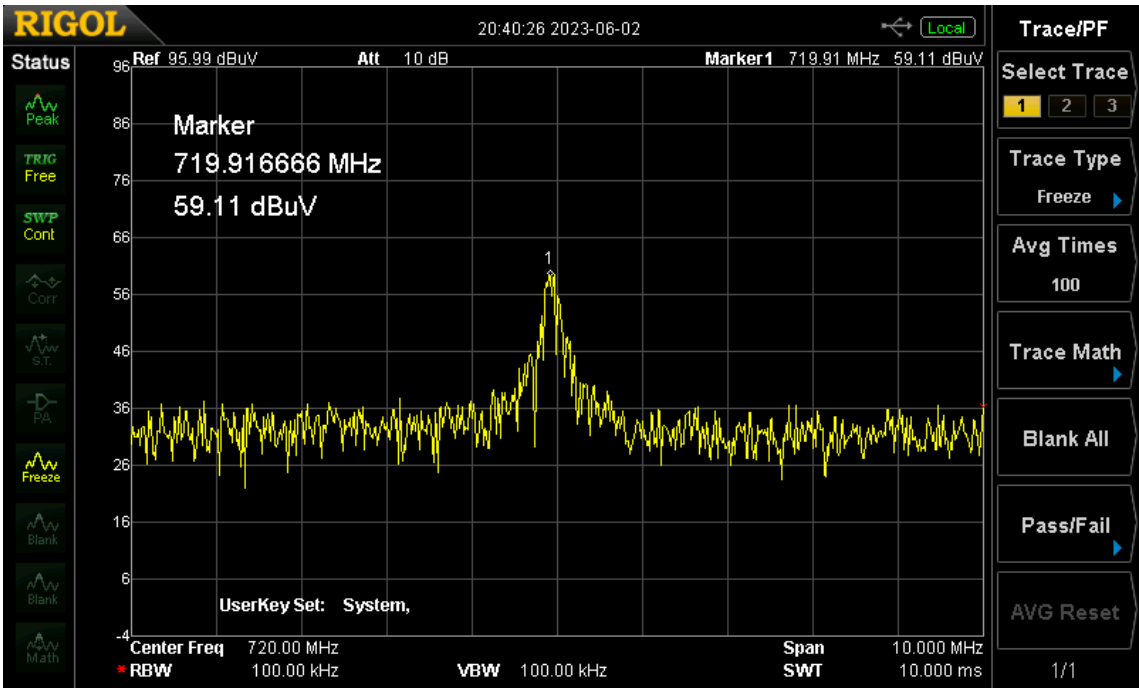
Рисунок 5.3 – Первая гармоника сигнала ПЭМИН от интерфейса HDMI СВТ

Измеренные уровни сигнала и шума видеоинтерфейса VGA на всех обнаруженных гармониках были занесены в таблицу Е.2 приложения Е. Затем эти данные были использованы при расчёте контролируемой зоны R_2 от СВТ в

разработанном программном обеспечении. Результаты расчёта зоны R_2 от СВТ включая интерфейс HDMI представлены на рисунке 5.4.



При исследовании интерфейса USB 2.0 был использован USB flash накопитель и тестовая программа для носителей информации. Тактовая частота сигнала от интерфейса USB 2.0 – 240 МГц. В ходе исследования с помощью разработанной измерительной антенны были обнаружены только 3, 4 и 5 гармоники данного сигнала. Результаты были занесены в таблицу Е.3 приложения Е. На рисунке 5.5 представлена третья гармоника сигнала ПЭМИН от интерфейса USB 2.0.



Результаты расчёта зоны R_2 от СВТ включая интерфейс USB 2.0 представлены на рисунке 5.6.

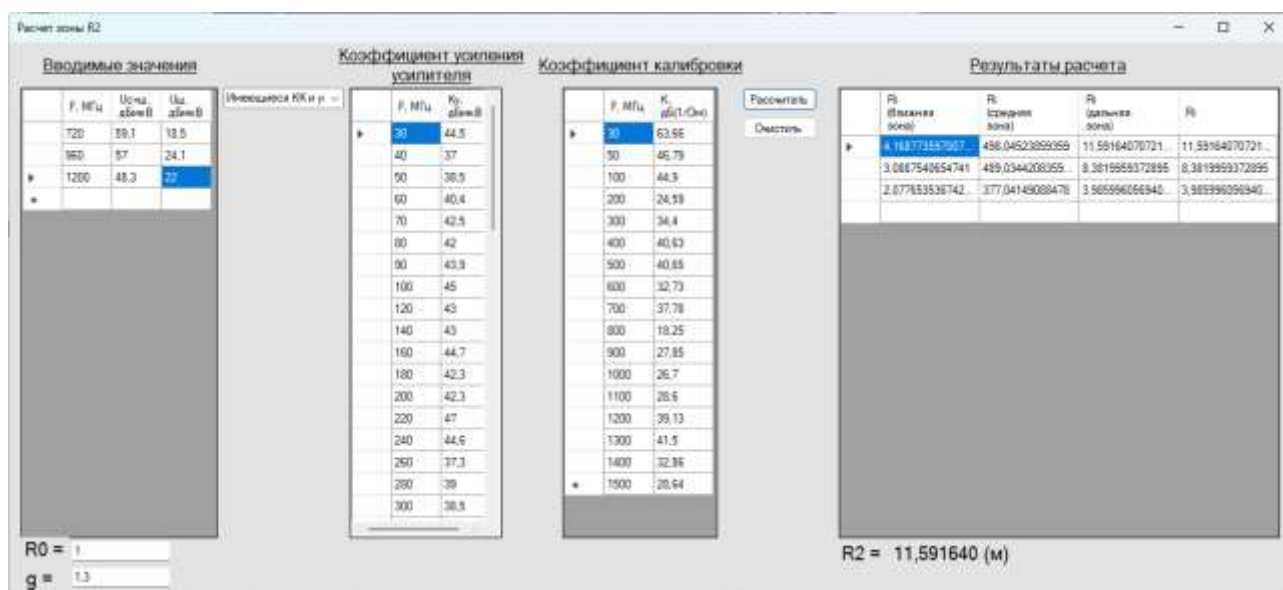


Рисунок 5.6 – Результат расчета зоны R_2 для интерфейса USB 2.0

При исследовании сетевого интерфейса была использована локальная папка, размещённая да другом СВТ, в которую записывался тестовый файл и тестовая программа для носителей информации. Тактовая частота сигнала от сетевого интерфейса – 125 МГц. Исследование сетевого интерфейса проводилось при следующих настройках анализатора спектра:

- режим анализа измерений – положительный пик;
- анализируемый диапазон частот (Span) – 1 МГц;
- полоса пропускания фильтра анализатора спектра (BW) – 3 кГц;
- время развертки (SWT) – 111,1 мс.

В ходе исследования с помощью разработанной измерительной антенны были обнаружены только 2, 3, 4 и 5 гармоники данного сигнала. На рисунке 5.7 представлена вторая гармоника сигнала ПЭМИН от сетевого интерфейса. Результаты были занесены в таблицу Е.4 приложения Е. Затем эти данные были использованы при расчёте контролируемой зоны R_2 от СВТ в разработанном программном обеспечении. Результаты расчёта зоны R_2 от СВТ включая сетевой интерфейс представлены на рисунке 5.8.

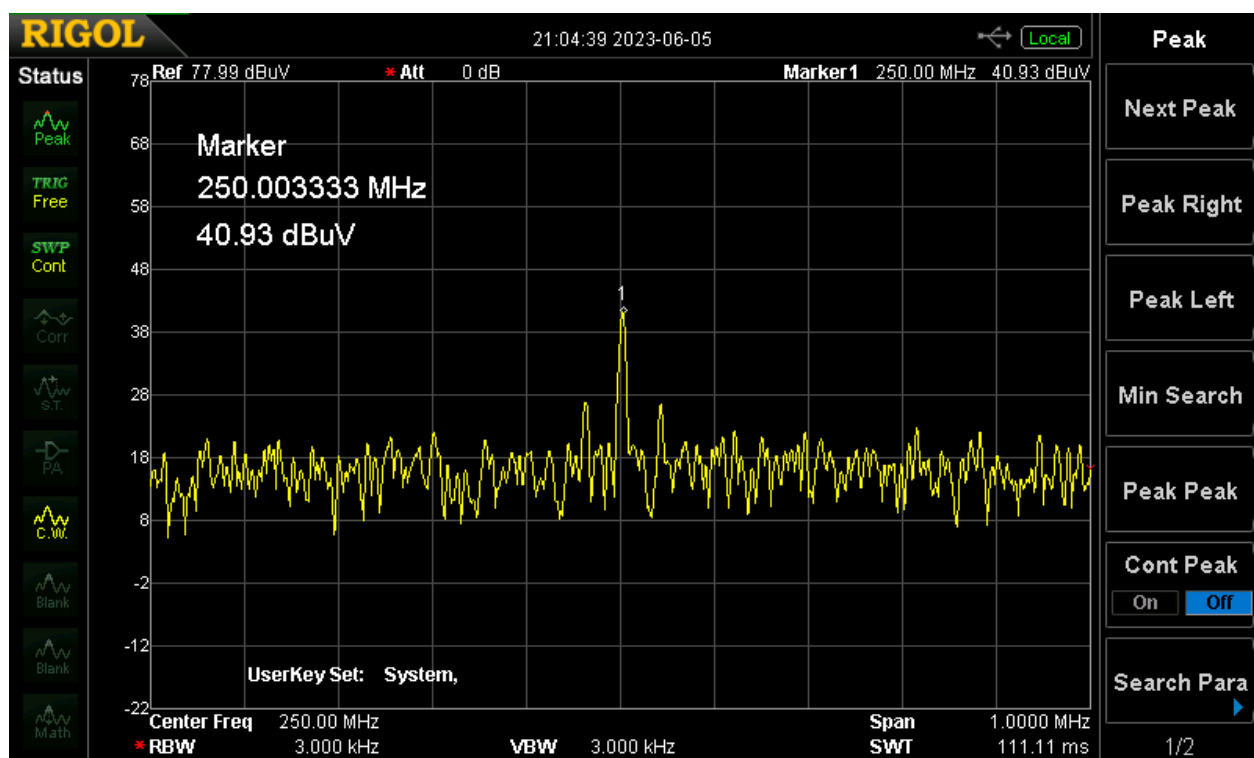


Рисунок 5.7 – Вторая гармоника сигнала ПЭМИН от сетевого интерфейса

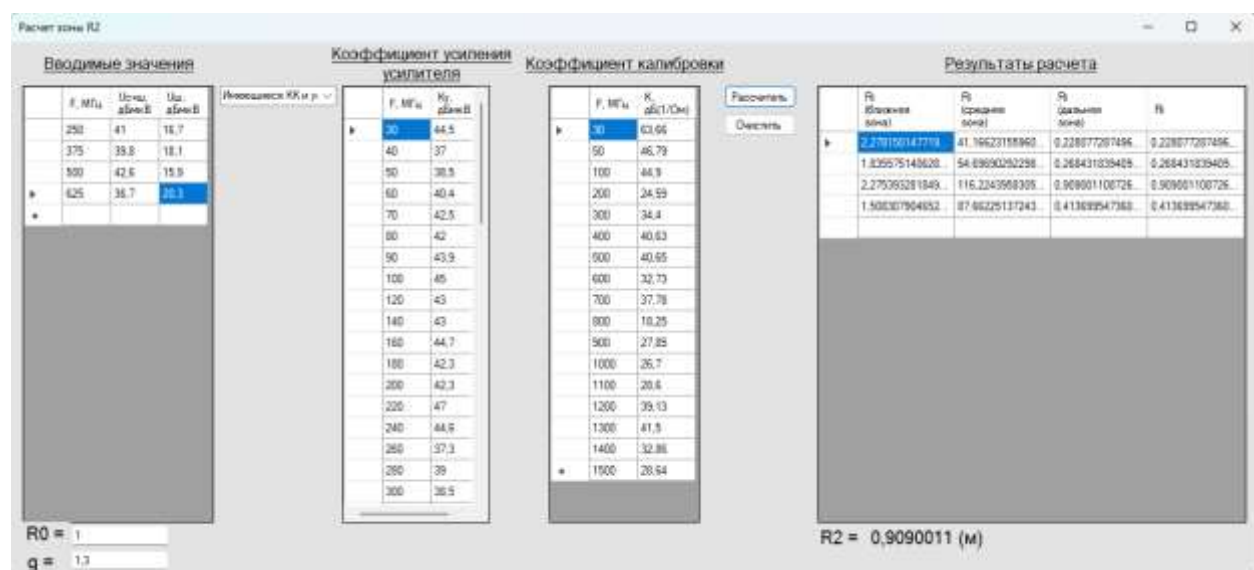


Рисунок 5.6 – Результат расчета зоны R_2 для сетевого интерфейса

По результатам экспериментальных исследований с использованием программно-аппаратного комплекса на реальном СВТ, итоговая зона R_2 от исследуемого СВТ составляет 11,6 метров, так как данная зона берётся максимальной из всех исследуемых интерфейсов СВТ. Также можно сделать вывод, что разработанный программно-аппаратный комплекс может быть использован для обнаружения ПЭМИН от СВТ и дальнейшего расчета зоны R_2 в рамках лабораторного практикума, что соответствует требованиям технического задания.

6 Вредные психофизиологические факторы, влияющие на психоэмоциональное состояние специалиста по защите информации. Методы и средства физической культуры, снижающие их воздействие

Инциденты в рабочее время часто связаны с участием в них человека. Данные инциденты принято связывать с человеческим фактором.

Человеческий фактор – это физические, психологические и социальные характеристики, которые влияют на взаимодействие человека с оборудованием, системами, процессами, другими людьми и трудовыми коллективами.

Большинство ошибок, действий и решений сами по себе являются результатом того, как устроено рабочее место, как налажена работа, они зависят от оборудования и мер контроля, а также того, как руководство влияет на трудовую дисциплину, психоэмоциональное состояние специалистов и культуру в организации.

Психическое состояние человека – это относительно устойчивая структурная организация всех компонентов психики, выполняющая функцию активного взаимодействия человека с внешней средой, представленной в данный момент конкретной ситуацией [15].

Специалист по защите информации при проведении специальных исследований подвержен следующим психофизиологическим факторам, влияющим на психоэмоциональное состояние:

- отсутствие инсоляции БЭК;
- отсутствие эха в БЭК;
- работа в закрытом помещении (БЭК);
- влияние электромагнитного излучения;
- интеллектуально-эмоциональная нагрузка.

Недостаток солнечного света может стать причиной нарушений жизнедеятельности организма. Среди самых распространенных последствий недостаточной инсоляции – замедление обмена веществ, снижение остроты зрения, ухудшение физического и эмоционального состояния. То есть наши

раздражительность и угнетенность вполне могут быть вызваны недостаточным количеством солнечного света. Нехватка солнца также повышает вероятность развития инфекционных заболеваний. Однако обилие солнечных лучей может не менее негативно сказаться на нашем здоровье, поэтому в этом вопросе важен баланс.

Многие могут опрометчиво оценивают отсутствие эха в помещении, однако по результатам некоторых исследований исключение информации, получаемой одним из важнейших органов чувств человека, ведет к дезориентации и может сопровождаться неприятными ощущениями.

Создатель знаменитой безэховой камеры Орфилдской лаборатории в штате Миннесота, США, Стивен Орфилд в интервью «Daily Mail» поделился наблюдениями об особенностях поведения людей, попадающих в условия тотальной шумоизоляции: «Обычно вы ориентируетесь в пространстве за счет звуков, возникающих при ходьбе. В безэховой камере такая слуховая информация попросту отсутствует. В результате нарушается восприятие пространства, вам становится трудно маневрировать и сохранять баланс. Если человек находится в камере в течение получаса, то ему стоит использовать стул и сохранять сидячее положение». Посетители «тихой комнаты» также свидетельствовали о случаях тошноты, озноба, панических атак и слуховых галлюцинаций [16].

Также при работе в безэховой камере у человека могут проявиться симптомы клаустрофобии, так как типичные приступы заболевания возникают при нахождении в небольшом замкнутом помещении или пространстве. Это может быть лифт, небольшая комната, подвал, солярий, аппарат КТ или МРТ, примерочная кабина, автомобиль или общественный транспорт, коридоры и др. Самые тяжелые приступы клаустрофобии обычно развиваются во время нахождения в небольшом помещении без окон или с маленькими окнами. Симптомы клаустрофобии могут возникать и в тех ситуациях, когда человек должен длительное время находиться в определенном месте без возможности быстро его покинуть.

Главным симптомом клаустрофобии является тревога, страх или беспокойство. Они начинают появляться и достигают своего максимум при нахождении в замкнутом помещении. При этом может возникать ощущение нехватки воздуха, теряется контроль над поведением. Работнику может казаться, что он потерял контроль над собственным телом, может в любой момент умереть или причинить себе вред, а мир вокруг стал нечетким и «расплывчатым».

Воздействие низкочастотных электромагнитных полей вызывает дремотное состояние, сонливость, изменение в работе сердечно-сосудистой системы и дыхания, снижение артериального давления, числа сердечных сокращений [17].

Среди мероприятий, направленных на повышение умственной работоспособности, на преодоление и профилактику психоэмоционального и функционального состояния можно рекомендовать следующие:

- систематическое обучение специалиста по защите информации в рамках повышения квалификации в течение года;
- ритмичная и системная организация труда;
- постоянное поддержание интереса с помощью особых поощрений и актуальности поставленных задач;
- совершенствование межличностных отношений между сотрудниками;
- организация рационального режима труда, питания, сна и отдыха;
- включение двигательной активности и физической культуры;
- прохождение специалистом по защите информации обучения методам самоконтроля состояния организма с целью выявления отклонений от нормы, своевременной корректировки и устранения этих отклонений средствами профилактики.

Примером двигательной активности и физической культуры могут послужить малые формы физической культуры в режиме рабочего дня. К ним относятся: утренняя гигиеническая гимнастика, физкультурная пауза, физкультурные микропаузы с использованием физических упражнений.

Утренняя гигиеническая гимнастика является наименее сложной, но достаточно эффективной формой для ускорения включения сотрудника в режим продуктивного трудового дня. Уровень современных знаний позволяет утверждать, что среди самых разнообразных средств и методов занятий физическими упражнениями утренняя гигиеническая гимнастика – одно из 65 ценных в оздоровлении организма и повышения его работоспособности. Она создаёт в организме «рабочую установку», усиливает ток крови и лимфы во всех частях тела и учащает дыхание, что активизирует обмен веществ и быстро удаляет продукты распада, накопившиеся за ночь, ликвидирует неблагоприятные последствия гиподинамии и подготавливает нервную систему, двигательный аппарат и внутренние органы к предстоящей ответственной работе.

Физкультурная пауза является действенной и доступной формой, призванной решать задачу обеспечения активного отдыха специалиста и повышения его работоспособности. Для сохранения высокой умственной работоспособности в течение всего рабочего дня целесообразно к концу третьего – четвертого часа «сидячей» работы использовать «малые формы» активного отдыха, так как к этому времени наступает утомление от большого умственного напряжения и недостатка кислорода в помещении. Как результат, снижается внимание, активность, интерес к делам.

Микропаузы в рабочей деятельности специалиста по защите информации с использованием физических упражнений полезны в связи с тем, что в условиях труда в силу разнообразных факторов возникают состояния отвлечения от выполняемой работы. Чаще это обусловлено усталостью в условиях ограничения активности скелетной мускулатуры, монотонным характером выполняемой работы. При снижении внимания и наступающего утомления рекомендуется проведение физкультурных минуток – малой формы активного отдыха преимущественно локального характера длительностью от 1 до 2 мин. Она уменьшает утомление отдельных частей тела (кистей, шеи, спины, ног), или систем и органов (нервной, зрительного анализатора, голосового аппарата и др.).

Оказывая общее стимулирующее влияние на организм, физкультурные минутки улучшают его функциональное состояние, являются в полном смысле экспресс-методом восстановления, незаменимы в условиях длительной работы без регламентированных перерывов для отдыха. Положительный эффект достигается лишь при многократном выполнении разных по содержанию физкультурных минуток в течение дня.

Физкультурная микропауза – ещё одна малая форма активного отдыха, получившая в последнее время широкое распространение. Обычно используют одно упражнение, отдельное движение или специальный приём, повторенный от 4 до 6 раз. Применяют разнообразные дыхательные упражнения, приёмы самомассажа, холодовые воздействия на лицо и голову. Продолжительность физкультурной микропаузы составляет от 20 до 30 с, но после её выполнения у человека быстро наступает чувство облегчения. Сложность овладения этой формой активного отдыха заключается в том, что человек должен хорошо разбираться, что и когда ему лучше применять из арсенала средств восстановления.

Малые формы активного отдыха хороши тем, что на выполнение упражнений затрачивается минимум времени, а эффект облегчения достигается сразу, так как средства и приемы их просты и доступны каждому. Они успешно сочетаются с другими формами отдыха или применяются отдельно, причем в большинстве рабочих условий.

Хорошее психофизическое развитие специалиста по защите информации повышает трудовые возможности человека, их качество, позволяет успешно и адекватно реагировать на возникающие события и инциденты информационной безопасности, переносить высокие психические и физические нагрузки, эффективно функционировать в обычных и экстремальных условиях.

Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы был разработан программно-аппаратный комплекс для проведения лабораторного практикума по измерению ПЭМИН от СВТ. Данный комплекс предназначен для получения студентами практических навыков по работе с измерительными приборами и знаний о методике проведения специальных исследований ПЭМИН в ходе выполнения лабораторного практикума по дисциплинам, связанным со специальными исследованиями технических средств.

На первом этапе выполнения данной работы была разработана и описана структура программно-аппаратного комплекса.

На втором этапе выполнения работы выбраны компоненты программно-аппаратного комплекса и сделан вывод о необходимости разработки собственной измерительной дипольной антенны.

На третьем этапе выполнения работы разработаны вибраторы и предусилителя дипольной антенны, а также программного обеспечения расчёта расстояний распространения информативного сигнала от СВТ для его каждой спектральной составляющей R_{2i} и расчёта требуемого радиуса контролируемой зоны R_2 для СВТ в целом.

На четвёртом этапе выполнения работы рассчитаны характеристики разработанной измерительной антенны, такие как: максимум и минимум рабочего диапазона частот, коэффициент калибровки и диаграмма направленности.

На пятом этапе выполнения работы проведены экспериментальные исследования с использованием программно-аппаратного комплекса, в ходе которых была проверена работоспособность антенны на реальном стенде и проведён расчёт требуемого радиуса контролируемой зоны R_2 для реального СВТ.

На шестом этапе выполнения работы были выявлены вредные психофизиологические факторы, влияющие на психоэмоциональное

состояние специалиста по защите информации. Были определены методы и средства физической культуры, снижающие их воздействие, как рекомендации к применению в организации мер по регулированию психофизиологического состояния специалиста.

Таким образом, все пункты технического задания выполнены полностью.

Список использованных источников

1 ГОСТ Р 8.596-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030725> (дата обращения — 10.02.23);

2 Дьяконов В. П. Современные цифровые анализаторы спектра [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-tsifrovye-analizatory-spektra/viewer> (дата обращения: 10.02.2023)

3 СКАРД-Электроникс [Электронный ресурс]. П6-123 рупорная антенна 900 МГц – 12,4 ГГц URL: <http://skard.ru/product/p6-123/> (дата обращения: 12.02.2023)

4 СКАРД-Электроникс [Электронный ресурс]. П6-251 логопериодическая антенна 100 МГц – 6 ГГц URL: <http://skard.ru/product/p6-251/> (дата обращения: 12.02.2023)

5 Novapribor || ООО ТК «ОЛДИС» [Электронный ресурс]. АИ 5-0 антенна измерительная дипольная URL: https://novapribor.ru/catalog/radioizmeritelnye_pribory/antenny_izmeritelnye/dipolnye_antenny/ai_5_0_antenna_izmeritelnaya_dipolnaya/ (дата обращения: 12.02.2023)

6 Основы теории антенн: учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, А.А. Иванков. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 92 с. – 100 экз. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2011/panasyuk-a.pdf> (дата обращения — 20.05.23);

7 Энциклопедия электронных схем. Том 7. Часть III: Пер. с англ. – М.: ДМК. – 384 с.: ил.

8 Методические указания к лабораторной работе №1 дисциплины «Специальные исследования технических средств защищенных автоматизированных систем управления» [Электронный ресурс] – URL:

https://moodle.pnzgu.ru/pluginfile.php/1733180/mod_resource/content/3/%D0%9C%D0%A3_%D0%BB%D1%80_1.pdf, (дата обращения — 21.05.23);

9 Руководство по классическим приложениям (Windows Forms .NET) [Электронный ресурс] – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-7.0>, (дата обращения — 21.05.23);

10 Основы программирования на языках Си и C++ [Электронный ресурс] –URL: <http://cppstudio.com/>, (дата обращения — 21.05.23);

11 Microsoft C++. Классы и структуры. ref class и ref struct [Электронный ресурс] – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/cpp/extensions/classes-and-structs-cpp-component-extensions?view=msvc-170>, (дата обращения — 21.05.23).

12 Основы теории антенн и распространения радиоволн: Учебное пособие / Под ред. В.П. Кубанова. – С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016. – 258 с.: ил.

13 ГОСТ CISPR 16-1-4-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых помех [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107235> (дата обращения — 21.05.23);

14 Рекомендация МСЭ-R SM.1875-2. Измерение покрытия DVB-T и проверка критериев планирования [Электронный ресурс] – URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-2-201408-S!!PDF-R.pdf (дата обращения — 22.05.23).

15 А.А. Сухачев. «Охрана труда в строительстве». Учебник для среднего профессионального образования. Издательство КноРус, 2011. Психофизиологические основы безопасности труда [Электронный ресурс] – URL: <http://www.kiout.ru/info/publish/15014>, (дата обращения – 25.05.23);

16 Безэховая камера: можно ли сойти с ума от тишины // FUTURIST [Электронный ресурс] – URL: <https://futurist.ru/articles/1247>, (дата обращения – 25.05.23);

17 Ф.И. Одинаев, Ш.Ф. Одинаев, Ш.И. Шафиев, С.В. Шутова Электромагнитные излучения и здоровье человека // Вестник российских университетов. Математика. - 2015. - №6 [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektromagnitnye-izlucheniya-i-zdorovie-cheloveka>, (дата обращения – 25.05.23);

Приложение А
(обязательное)
Алгоритм работы функции «Рассчитать»

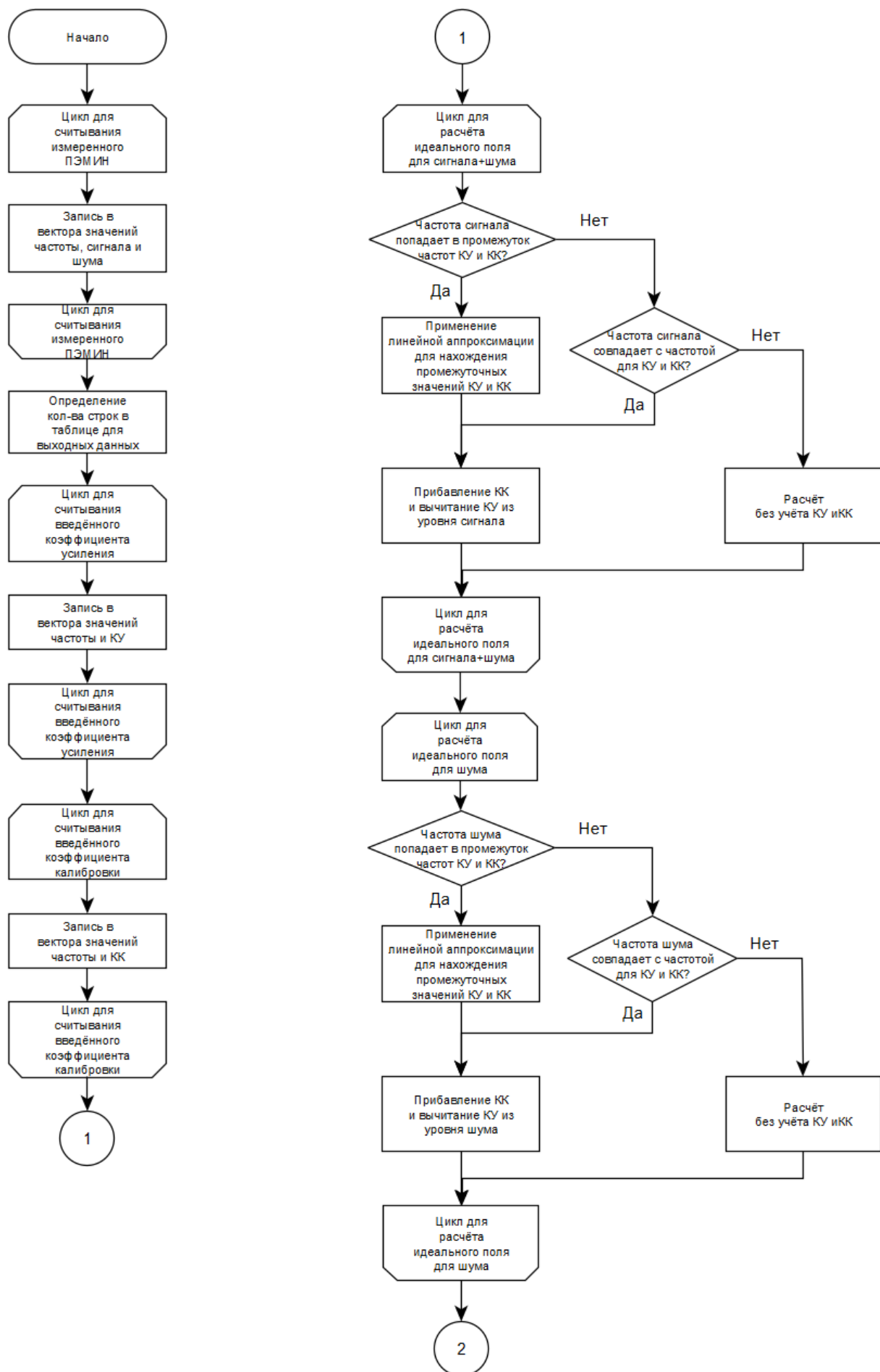


Рисунок А.1 – Алгоритм работы функции «Рассчитать». Лист 1

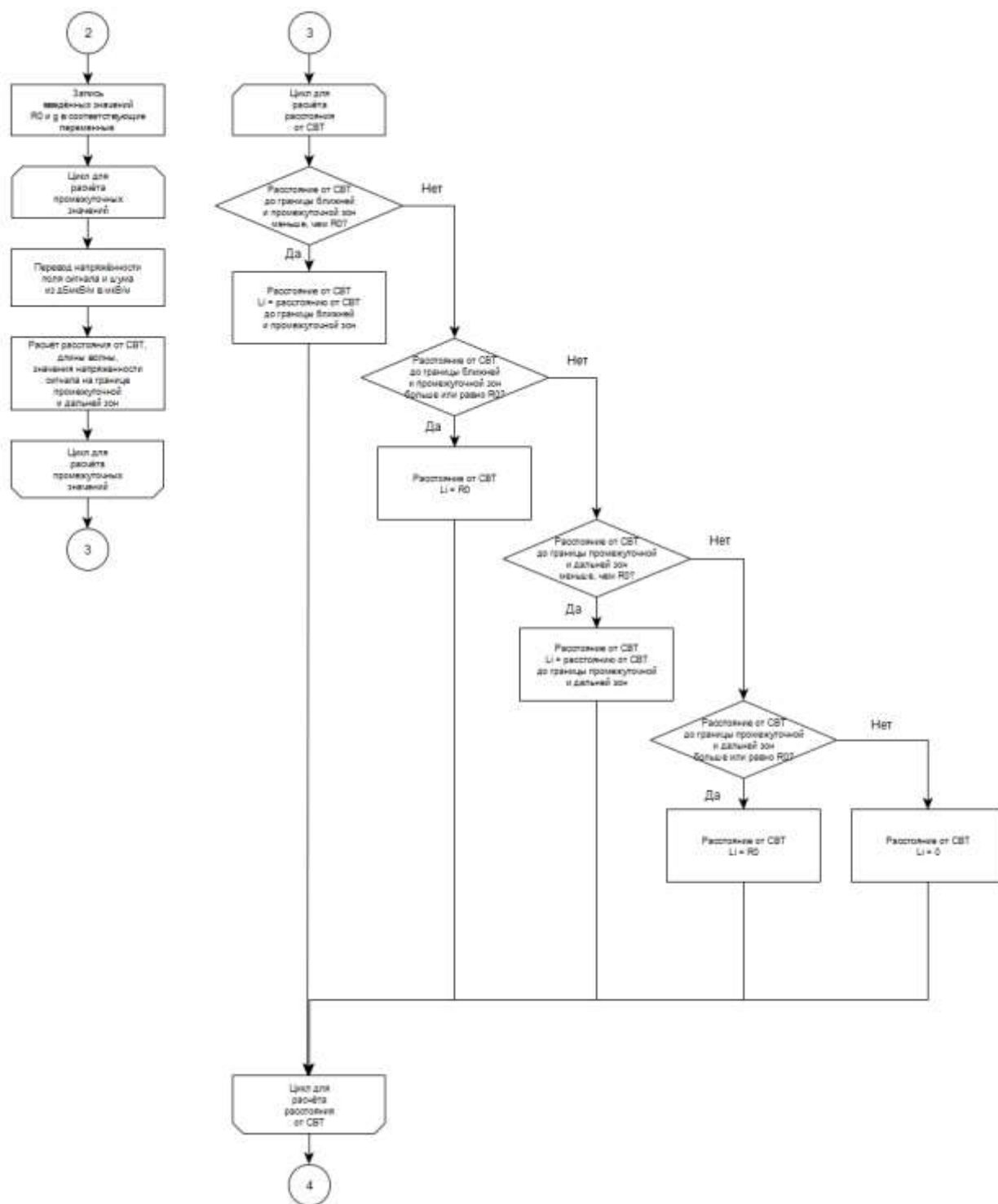


Рисунок А.2 – Алгоритм работы функции «Рассчитать». Лист 2

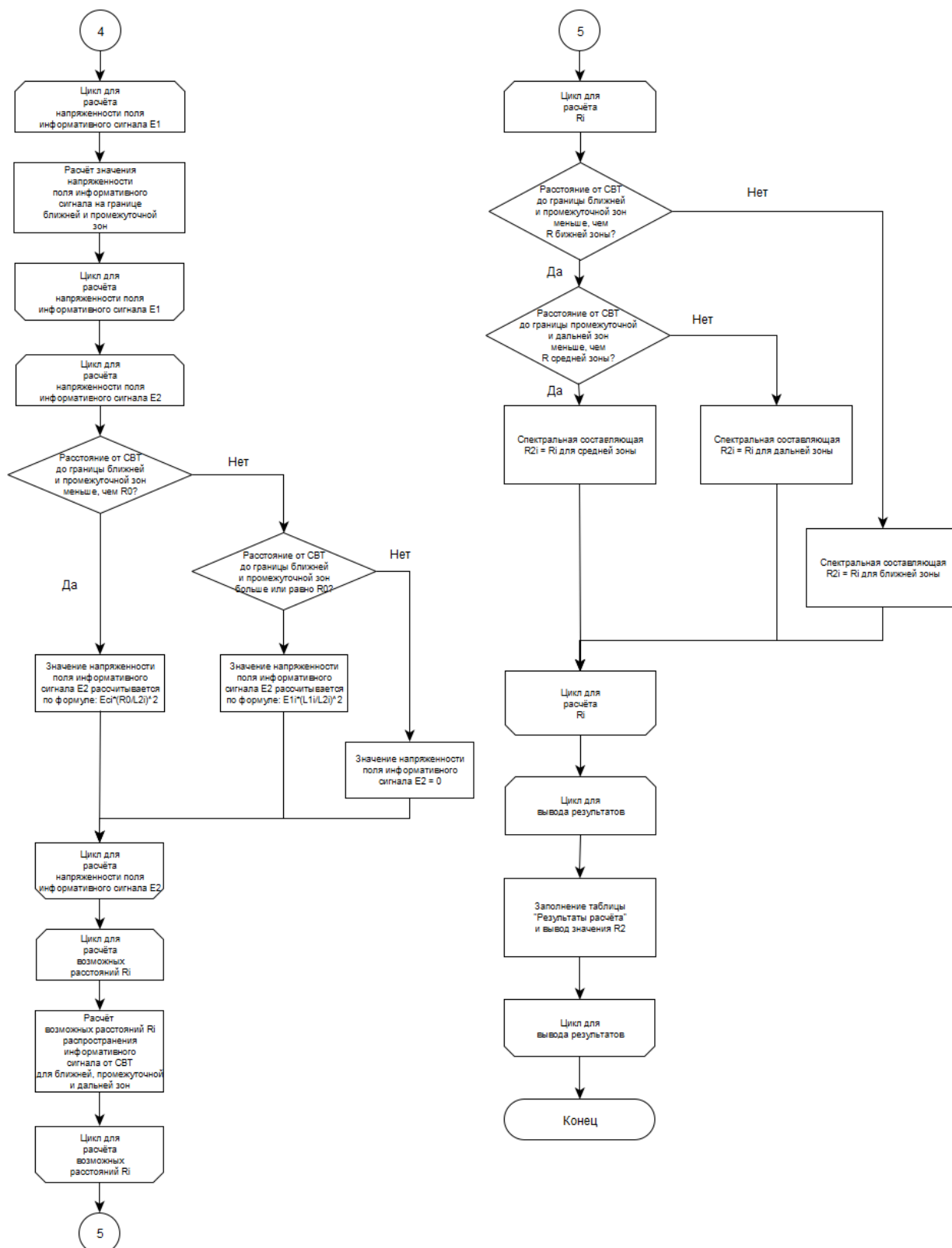


Рисунок А.3 – Алгоритм работы функции «Рассчитать». Лист 3

Приложение Б
(обязательное)
Алгоритм работы функции «Очистить»

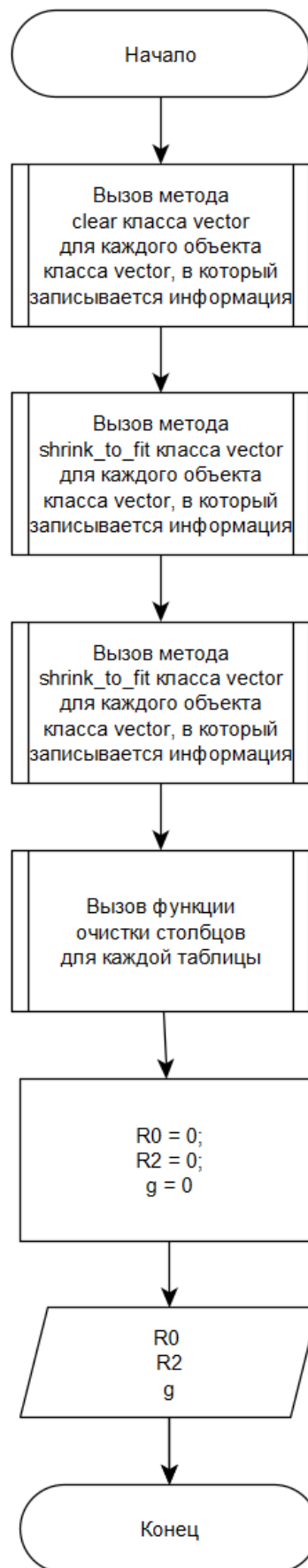


Рисунок Б.1 – Алгоритм работы функции «Очистить»

Приложение В

(обязательное)

Текст основного файла программы Diplom.cpp

```
#include "MyForm.h"

using namespace System;
using namespace System::Windows::Forms;

[STAThreadAttribute]
int main(array<String^>^ args)
{
    Application::SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
    Application::EnableVisualStyles();
    Diplom::MyForm form;
    Application::Run(% form);
}
```

Приложение Г

(обязательное)

Текст заголовочного файла программы Diplom.h

```

#pragma once
#include <vector>
#include <cmath>

namespace Diplom {

    using namespace System;
    using namespace System::ComponentModel;
    using namespace System::Collections;
    using namespace System::Windows::Forms;
    using namespace System::Data;
    using namespace System::Drawing;

    /// <summary>
    /// Сводка для MyForm
    /// </summary>
    public struct MyData
    {
    public:
        std::vector <double> Frac;
        std::vector <double> Usig;
        std::vector <double> Unoise;
        std::vector <double> Usilenie{ 44.5, 37, 38.5, 40.4, 42.5,
42, 43.9, 45, 43, 43, 44.7, 42.3, 42.3, 47, 44.6, 37.3, 39, 38.5,
40.6, 42.3, 41.7, 41.1, 40.8, 40.42, 40.1, 40.4, 41.4, 40.9, 40.1,
40.6, 40.5, 40.7, 41.2, 40.2, 40.9, 40.6, 40.6, 40.9, 41.5, 41.1,
40.2, 40, 40.1, 41.4, 41, 40.9, 40.6, 40.8, 41.3, 40, 41, 39.2, 40.7,
40.1, 40, 37.9, 38, 32.4 };
        std::vector <double> Ukalib{ 63.66, 46.79, 44.9, 24.59,
34.4, 40.63, 40.65, 32.73, 37.78, 18.25, 27.85, 26.7, 28.6, 39.13,
41.5, 32.86, 28.64 };
        std::vector <double> Esh;
        std::vector <double> Eh;
        std::vector <double> L1;
        std::vector <double> L2;
        std::vector <double> lambd;
        std::vector <double> Eci;
        std::vector <double> Li;
        std::vector <double> Eli;
        std::vector <double> E2i;
        std::vector <double> Ribliz;
        std::vector <double> Rsred;
        std::vector <double> Rdal;
        std::vector <double> Ri;
        std::vector <double> Usi_F_read;
    }
}

```

```

        std::vector<double> Ukali_F_read;
        std::vector<double> Usi_U_read;
        std::vector<double> Ukali_U_read;
        std::vector<double> Usig_Usi;
        std::vector<double> Unoise_Ukali;
        double R0;
        double g;
        double R2 = 0.0;
    };
    MyData Input;
    public ref class MyForm : public System::Windows::Forms::Form
    {
    public:
        MyForm(void)
        {
            InitializeComponent();
            //
            //TODO: добавьте код конструктора
            //
        }

    protected:
        /// <summary>
        /// Освободить все используемые ресурсы.
        /// </summary>
        ~MyForm()
        {
            if (components)
            {
                delete components;
            }
        }

    private: System::Windows::Forms::DataGridView^ dataGridView1;

    private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^ Uc;

    private: System::Windows::Forms::ComboBox^ comboBox1;
    private: System::Windows::Forms::DataGridView^ dataGridView2;

    private: System::Windows::Forms::DataGridView^ dataGridView3;
    private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column6;

```

```

        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column7;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column8;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column9;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label1;

        private: System::Windows::Forms::Label^ label2;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label3;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label4;
        private: System::Windows::Forms::DataGridView^ dataGridView4;

        private: System::Windows::Forms::Button^ button1;
        private: System::Windows::Forms::Button^ button2;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label5;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label6;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label7;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column1;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column2;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column3;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column4;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column5;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column10;
        private: System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn^
Column11;
        private: System::Windows::Forms::TextBox^ textBox1;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label8;
        private: System::Windows::Forms::TextBox^ textBox2;
        private: System::Windows::Forms::Label^ label9;

```

protected:

protected:

```

private:
    /// <summary>
    /// Обязательная переменная конструктора.
    /// </summary>
    System::ComponentModel::Container^ components;

#pragma region Windows Form Designer generated code
    /// <summary>
    /// Требуемый метод для поддержки конструктора – не
изменяйте
    /// содержимое этого метода с помощью редактора кода.
    /// </summary>
    void InitializeComponent(void)
    {
        this->dataGridView1 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridView());
        this->Column1 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column2 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column3 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->comboBox1 = (gcnew
System::Windows::Forms::ComboBox());
        this->dataGridView2 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridView());
        this->Column4 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column5 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->dataGridView3 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridView());
        this->Column6 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column7 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column8 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column9 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->label1 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->label2 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());

```

```

        this->label3 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->label4 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->dataGridView4 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridView());
        this->Column10 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->Column11 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewTextBoxColumn());
        this->button1 = (gcnew
System::Windows::Forms::Button());
        this->button2 = (gcnew
System::Windows::Forms::Button());
        this->label5 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->label6 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->label7 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->textBox1 = (gcnew
System::Windows::Forms::TextBox());
        this->label8 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
        this->textBox2 = (gcnew
System::Windows::Forms::TextBox());
        this->label9 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView1))->BeginInit();

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView2))->BeginInit();

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView3))->BeginInit();

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView4))->BeginInit();
        this->SuspendLayout();
        //
        // dataGridView1
        //

```

```

        this->dataGridView1->BackgroundColor =
System::Drawing::SystemColors::ControlDark;
        this->dataGridView1->ColumnHeadersHeightSizeMode =
System::Windows::Forms::DataGridViewColumnHeadersHeightSizeMode::AutoS
ize;
        this->dataGridView1->Columns->AddRange(gcnew
cli::array< System::Windows::Forms::DataGridViewColumn^ >(3) {
            this->Column1,
            this->Column2, this->Column3
        });
        this->dataGridView1->Location =
System::Drawing::Point(12, 45);
        this->dataGridView1->Name = L"dataGridView1";
        this->dataGridView1->Size = System::Drawing::Size(198,
452);

        this->dataGridView1->TabIndex = 0;
        this->dataGridView1->CellContentClick += gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewCellEventHandler(this,
&MyForm::dataGridView1_CellContentClick);
        //
        // Column1
        //
        this->Column1->HeaderText = L"F, МГц";
        this->Column1->Name = L"Column1";
        this->Column1->Width = 50;
        //
        // Column2
        //
        this->Column2->HeaderText = L"Ус+ш, дБмкВ";
        this->Column2->Name = L"Column2";
        this->Column2->Width = 50;
        //
        // Column3
        //
        this->Column3->HeaderText = L"Уш, дБмкВ";
        this->Column3->Name = L"Column3";
        this->Column3->Width = 50;
        //
        // comboBox1
        //
        this->comboBox1->FormattingEnabled = true;
        this->comboBox1->Items->AddRange(gcnew cli::array<
System::Object^ >(3) { L"Без КК и усиления", L"Ввести вручную",
L"Имеющиеся КК и усиления" });

```

```

        this->comboBox1->Location =
System::Drawing::Point(216, 45);
        this->comboBox1->Name = L"comboBox1";
        this->comboBox1->Size = System::Drawing::Size(121,
21);

        this->comboBox1->TabIndex = 1;
        this->comboBox1->Text = L"Выбор КУ и КК";
        this->comboBox1->SelectedIndexChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::comboBox1_SelectedIndexChanged);
        //
        // dataGridView2
        //
        this->dataGridView2->BackgroundColor =
System::Drawing::SystemColors::ControlDark;
        this->dataGridView2->ColumnHeadersHeightSizeMode =
System::Windows::Forms::DataGridViewColumnHeadersHeightSizeMode::AutoS
ize;

        this->dataGridView2->Columns->AddRange(gcnew
cli::array< System::Windows::Forms::DataGridViewColumn^ >(2) {
            this->Column4,
            this->Column5
        });
        this->dataGridView2->Location =
System::Drawing::Point(343, 45);
        this->dataGridView2->Name = L"dataGridView2";
        this->dataGridView2->Size = System::Drawing::Size(153,
452);

        this->dataGridView2->TabIndex = 2;
        this->dataGridView2->CellContentClick += gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewCellEventHandler(this,
&MyForm::dataGridView2_CellContentClick);
        //
        // Column4
        //
        this->Column4->HeaderText = L"F, МГц";
        this->Column4->Name = L"Column4";
        this->Column4->Width = 50;
        //
        // Column5
        //
        this->Column5->HeaderText = L"Ку, дБмкВ";
        this->Column5->Name = L"Column5";
        this->Column5->Width = 50;
        //
        // dataGridView3

```

```

        //
        this->dataGridView3->AllowUserToAddRows = false;
        this->dataGridView3->AllowUserToDeleteRows = false;
        this->dataGridView3->AllowUserToResizeColumns = false;
        this->dataGridView3->AllowUserToResizeRows = false;
        this->dataGridView3->BackgroundColor =
System::Drawing::SystemColors::ControlDark;
        this->dataGridView3->ColumnHeadersHeightSizeMode =
System::Windows::Forms::DataGridViewColumnHeadersHeightSizeMode::AutoSize;
        this->dataGridView3->Columns->AddRange(gcnew
cli::array< System::Windows::Forms::DataGridViewColumn^ >(4) {
            this->Column6,
            this->Column7, this->Column8, this->Column9
        });
        this->dataGridView3->Location =
System::Drawing::Point(835, 45);
        this->dataGridView3->Name = L"dataGridView3";
        this->dataGridView3->ReadOnly = true;
        this->dataGridView3->Size = System::Drawing::Size(444,
452);

        this->dataGridView3->TabIndex = 3;
        this->dataGridView3->CellContentClick += gcnew
System::Windows::Forms::DataGridViewCellEventHandler(this,
&MyForm::dataGridView3_CellContentClick);
        //
        // Column6
        //
        this->Column6->HeaderText = L"Ri\n(ближняя зона)";
        this->Column6->Name = L"Column6";
        this->Column6->ReadOnly = true;
        //
        // Column7
        //
        this->Column7->HeaderText = L"Ri\n(средняя зона)";
        this->Column7->Name = L"Column7";
        this->Column7->ReadOnly = true;
        //
        // Column8
        //
        this->Column8->HeaderText = L"Ri\n(дальняя зона)";
        this->Column8->Name = L"Column8";
        this->Column8->ReadOnly = true;
        //
        // Column9

```

```

//
this->Column9->HeaderText = L"Ri";
this->Column9->Name = L"Column9";
this->Column9->ReadOnly = true;
//
// label1
//
this->label1->AutoSize = true;
this->label1->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 12,
System::Drawing::FontStyle::Underline,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
    static_cast<System::Byte>(204)));
this->label1->ForeColor =
System::Drawing::SystemColors::ControlText;
this->label1->Location = System::Drawing::Point(30,
12);

this->label1->Name = L"label1";
this->label1->Size = System::Drawing::Size(164, 20);
this->label1->TabIndex = 4;
this->label1->Text = L"Вводимые значения";
this->label1->TextAlign =
System::Drawing::ContentAlignment::BottomLeft;
this->label1->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label1_Click);
//
// label2
//
this->label2->AutoSize = true;
this->label2->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 12,
System::Drawing::FontStyle::Underline,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
    static_cast<System::Byte>(204)));
this->label2->Location = System::Drawing::Point(328,
2);

this->label2->Name = L"label2";
this->label2->Size = System::Drawing::Size(195, 40);
this->label2->TabIndex = 5;
this->label2->Text = L"Коэффициент
усиления\r\nусилителя";
this->label2->TextAlign =
System::Drawing::ContentAlignment::MiddleCenter;
this->label2->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label2_Click);

```

```

        //
        // label3
        //
        this->label3->AutoSize = true;
        this->label3->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 12,
System::Drawing::FontStyle::Underline,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label3->Location = System::Drawing::Point(529,
12);

        this->label3->Name = L"label3";
        this->label3->Size = System::Drawing::Size(214, 20);
        this->label3->TabIndex = 6;
        this->label3->Text = L"Коэффициент калибровки";
        this->label3->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label3_Click);
        //
        // label4
        //
        this->label4->AutoSize = true;
        this->label4->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 12,
System::Drawing::FontStyle::Underline,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label4->Location = System::Drawing::Point(963,
12);

        this->label4->Name = L"label4";
        this->label4->Size = System::Drawing::Size(166, 20);
        this->label4->TabIndex = 7;
        this->label4->Text = L"Результаты расчета";
        this->label4->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label4_Click);
        //
        // dataGridView4
        //
        this->dataGridView4->BackgroundColor =
System::Drawing::SystemColors::ControlDark;
        this->dataGridView4->ColumnHeadersHeightSizeMode =
System::Windows::Forms::DataGridViewColumnHeadersHeightSizeMode::AutoS
ize;

        this->dataGridView4->Columns->AddRange(gcnew
cli::array< System::Windows::Forms::DataGridViewColumn^ >(2) {
        this->Column10,

```

```

        this->Column11
    });
    this->dataGridView4->Location =
System::Drawing::Point(557, 45);
    this->dataGridView4->Name = L"dataGridView4";
    this->dataGridView4->Size = System::Drawing::Size(156,
452);

    this->dataGridView4->TabIndex = 8;
    //
    // Column10
    //
    this->Column10->HeaderText = L"F, МГц";
    this->Column10->Name = L"Column10";
    this->Column10->Width = 50;
    //
    // Column11
    //
    this->Column11->HeaderText = L"K, дБ(1/Ом)";
    this->Column11->Name = L"Column11";
    this->Column11->Width = 60;
    //
    // button1
    //
    this->button1->Location = System::Drawing::Point(738,
45);

    this->button1->Name = L"button1";
    this->button1->Size = System::Drawing::Size(75, 23);
    this->button1->TabIndex = 9;
    this->button1->Text = L"Рассчитать";
    this->button1->UseVisualStyleBackColor = true;
    this->button1->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::button1_Click);
    //
    // button2
    //
    this->button2->Location = System::Drawing::Point(738,
74);

    this->button2->Name = L"button2";
    this->button2->Size = System::Drawing::Size(75, 23);
    this->button2->TabIndex = 10;
    this->button2->Text = L"Очистить";
    this->button2->UseVisualStyleBackColor = true;
    this->button2->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::button2_Click);
    //

```

```

        // label5
        //
        this->label5->AutoSize = true;
        this->label5->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 14.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label5->Location = System::Drawing::Point(834,
500);

        this->label5->Name = L"label5";
        this->label5->Size = System::Drawing::Size(49, 24);
        this->label5->TabIndex = 11;
        this->label5->Text = L"R2 =";
        this->label5->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label5_Click);
        //
        // label6
        //
        this->label6->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 14.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label6->Location = System::Drawing::Point(879,
500);

        this->label6->Name = L"label6";
        this->label6->Size = System::Drawing::Size(102, 24);
        this->label6->TabIndex = 12;
        this->label6->Text = L"0";
        this->label6->TextAlign =
System::Drawing::ContentAlignment::MiddleRight;
        this->label6->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label6_Click);
        //
        // label7
        //
        this->label7->AutoSize = true;
        this->label7->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 14.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label7->Location = System::Drawing::Point(977,
500);

```

```

        this->label7->Name = L"label7";
        this->label7->Size = System::Drawing::Size(35, 24);
        this->label7->TabIndex = 13;
        this->label7->Text = L"(M)";
        this->label7->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label7_Click);
        //
        // textBox1
        //
        this->textBox1->Location = System::Drawing::Point(63,
500);

        this->textBox1->Name = L"textBox1";
        this->textBox1->Size = System::Drawing::Size(100, 20);
        this->textBox1->TabIndex = 14;
        this->textBox1->Text = L"1";
        this->textBox1->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::textBox1_TextChanged);
        //
        // label8
        //
        this->label8->AutoSize = true;
        this->label8->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 14.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label8->Location = System::Drawing::Point(12,
496);

        this->label8->Name = L"label8";
        this->label8->Size = System::Drawing::Size(49, 24);
        this->label8->TabIndex = 15;
        this->label8->Text = L"R0 =";
        this->label8->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label8_Click);
        //
        // textBox2
        //
        this->textBox2->Location = System::Drawing::Point(63,
526);

        this->textBox2->Name = L"textBox2";
        this->textBox2->Size = System::Drawing::Size(100, 20);
        this->textBox2->TabIndex = 16;
        this->textBox2->Text = L"0,6";
        this->textBox2->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::textBox2_TextChanged);

```

```

        //
        // label9
        //
        this->label9->AutoSize = true;
        this->label9->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 14.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(204)));
        this->label9->Location = System::Drawing::Point(13,
525);

        this->label9->Name = L"label9";
        this->label9->Size = System::Drawing::Size(37, 24);
        this->label9->TabIndex = 17;
        this->label9->Text = L"g =";
        this->label9->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &MyForm::label9_Click);
        //
        // MyForm
        //
        this->AutoScaleDimensions = System::Drawing::SizeF(6,
13);

        this->AutoScaleMode =
System::Windows::Forms::AutoScaleMode::Font;
        this->AutoSize = true;
        this->BackColor =
System::Drawing::SystemColors::ControlLight;
        this->ClientSize = System::Drawing::Size(1291, 554);
        this->Controls->Add(this->label9);
        this->Controls->Add(this->textBox2);
        this->Controls->Add(this->label8);
        this->Controls->Add(this->textBox1);
        this->Controls->Add(this->label7);
        this->Controls->Add(this->label6);
        this->Controls->Add(this->label5);
        this->Controls->Add(this->button2);
        this->Controls->Add(this->button1);
        this->Controls->Add(this->dataGridView4);
        this->Controls->Add(this->label4);
        this->Controls->Add(this->label3);
        this->Controls->Add(this->label2);
        this->Controls->Add(this->label1);
        this->Controls->Add(this->dataGridView3);
        this->Controls->Add(this->dataGridView2);
        this->Controls->Add(this->comboBox1);

```

```

        this->Controls->Add(this->dataGridView1);
        this->Name = L"MyForm";
        this->ShowIcon = false;
        this->StartPosition =
System::Windows::Forms::FormStartPosition::CenterScreen;
        this->Text = L"Расчет зоны R2";
        this->Load += gcnew System::EventHandler(this,
&MyForm::MyForm_Load);

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView1))->EndInit();

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView2))->EndInit();

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView3))->EndInit();

        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^>(this
->dataGridView4))->EndInit();
        this->ResumeLayout(false);
        this->PerformLayout();

    }
#pragma endregion
    private: System::Void
dataGridView1_CellContentClick(System::Object^ sender,
System::Windows::Forms::DataGridViewCellEventArgs^ e) {

    }
    private: System::Void checkBox1_CheckedChanged(System::Object^
sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void
comboBox1_SelectedIndexChanged(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
        if (System::Convert::ToString(this->comboBox1->Text) ==
System::Convert::ToString("Ввести вручную"))
        {
            dataGridView2->ReadOnly = false;
            dataGridView4->ReadOnly = false;
            dataGridView2->Rows->Clear();
            dataGridView4->Rows->Clear();
        }
    }

```

```

        if (System::Convert::ToString(this->comboBox1->Text) ==
System::Convert::ToString("Без КК и усиления"))
        {
            dataGridView2->ReadOnly = true;
            dataGridView4->ReadOnly = true;
            dataGridView2->Rows->Clear();
            dataGridView4->Rows->Clear();
        }
        if (System::Convert::ToString(this->comboBox1->Text) ==
System::Convert::ToString("Имеющиеся КК и усиления"))
        {
            dataGridView2->RowCount = 58;
            int f = 30;
            for (int i = 0; i < dataGridView2->RowCount; i++)
            {
                dataGridView2->Rows[i]->Cells[0]->Value = f;
                if (f >= 30 && f < 100)
                {
                    f = f + 10;
                }
                else if (f >= 100 && f < 1000)
                {
                    f = f + 20;
                }
                else if (f >= 1000 && f < 1500)
                {
                    f = f + 100;
                }
                dataGridView2->Rows[i]->Cells[1]->Value =
Input.Usilenie[i];
            }
            dataGridView2->ReadOnly = true;
            dataGridView4->RowCount = 17;
            int f1 = 30;
            for (int i = 0; i < dataGridView4->RowCount; i++)
            {
                dataGridView4->Rows[i]->Cells[0]->Value = f1;
                if (f1 >= 30 && f1 < 50)
                {
                    f1 = f1 + 20;
                }
                else if (f1 >= 50 && f1 < 100)
                {
                    f1 = f1 + 50;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        else if (f1 >= 100 && f1 < 1500)
        {
            f1 = f1 + 100;
        }
        dataGridView4->Rows[i]->Cells[1]->Value =
Input.Ukalib[i];
    }
    dataGridView4->ReadOnly = true;
}

private: System::Void
comboBox1_SelectedIndexChanged_1(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
}

private: System::Void label1_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
}

private: System::Void
dataGridView3_CellContentClick(System::Object^ sender,
System::Windows::Forms::DataGridViewCellEventArgs^ e) {
}

private: System::Void label3_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
}

private: System::Void label4_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
}

private: System::Void label6_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
}

private: System::Void button1_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {

        Input.Frac.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridView1-
>Rows[i]->Cells[0]->Value));

        Input.Usig.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridView1-
>Rows[i]->Cells[1]->Value));

        Input.Unoise.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridView1-
>Rows[i]->Cells[2]->Value));
    }
    dataGridView3->RowCount = dataGridView1->RowCount;

```

```

        dataGridView3->ColumnCount = 4;
        for (int i = 0; i < dataGridView2->RowCount; i++)
        {

            Input.Usi_F_read.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridView
2->Rows[i]->Cells[0]->Value));

            Input.Usi_U_read.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridView
2->Rows[i]->Cells[1]->Value));
        }
        for (int i = 0; i < dataGridView4->RowCount; i++)
        {

            Input.Ukali_F_read.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridVi
ew4->Rows[i]->Cells[0]->Value));

            Input.Ukali_U_read.push_back(System::Convert::ToDouble(dataGridVi
ew4->Rows[i]->Cells[1]->Value));
        }
        //Прибавление KK и вычитание КУ из Uc+ш
        for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
        {
            for (int j = 1; j < dataGridView4->RowCount; j++)
            {
                if (Input.Frac[i] > Input.Ukali_F_read[j - 1] &&
Input.Frac[i] < Input.Ukali_F_read[j])
                {
                    Input.Usig[i] = Input.Usig[i] +
(Input.Ukali_U_read[j] * std::log10((Input.Frac[i] /
Input.Ukali_F_read[j - 1])) + Input.Ukali_U_read[j - 1] *
std::log10((Input.Ukali_F_read[j] / Input.Frac[i]))) /
std::log10((Input.Ukali_F_read[j] / Input.Ukali_F_read[j - 1]));
                }
                else if (Input.Frac[i] == Input.Ukali_F_read[j])
                {
                    Input.Usig[i] = Input.Usig[i] +
Input.Ukali_U_read[j];
                }
                else if (Input.Frac[i] == Input.Ukali_U_read[j -
1])
                {
                    Input.Usig[i] = Input.Usig[i] +
Input.Ukali_U_read[j - 1];
                }
            }
        }
    }

```

```

    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        for (int j = 1; j < dataGridView2->RowCount; j++)
        {
            if (Input.Frac[i] > Input.Usi_F_read[j - 1] &&
Input.Frac[i] < Input.Usi_F_read[j])
            {
                Input.Usig[i] = Input.Usig[i] -
(Input.Usi_U_read[j] * std::log10((Input.Frac[i] / Input.Usi_F_read[j]
- 1))) + Input.Usi_U_read[j - 1] * std::log10((Input.Usi_F_read[j] /
Input.Frac[i]))) / std::log10((Input.Usi_F_read[j] /
Input.Usi_F_read[j - 1]));
            }
            else if (Input.Frac[i] == Input.Usi_F_read[j])
            {
                Input.Usig[i] = Input.Usig[i] -
Input.Usi_U_read[j];
            }
            else if (Input.Frac[i] == Input.Usi_U_read[j -
1])
            {
                Input.Usig[i] = Input.Usig[i] -
Input.Usi_U_read[j - 1];
            }
        }
    }
    //Прибавление КК и вычитание КУ из Uш
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        for (int j = 1; j < dataGridView4->RowCount; j++)
        {
            if (Input.Frac[i] > Input.Ukali_F_read[j - 1] &&
Input.Frac[i] < Input.Ukali_F_read[j])
            {
                Input.Unoise[i] = Input.Unoise[i] +
(Input.Ukali_U_read[j] * std::log10((Input.Frac[i] /
Input.Ukali_F_read[j - 1])) + Input.Ukali_U_read[j - 1] *
std::log10((Input.Ukali_F_read[j] / Input.Frac[i]))) /
std::log10((Input.Ukali_F_read[j] / Input.Ukali_F_read[j - 1]));
            }
            else if (Input.Frac[i] == Input.Ukali_F_read[j])
            {
                Input.Unoise[i] = Input.Unoise[i] +
Input.Ukali_U_read[j];
            }
        }
    }

```

```

        }
        else if (Input.Frac[i] == Input.Ukali_U_read[j -
1])
        {
            Input.Unoise[i] = Input.Unoise[i] +
Input.Ukali_U_read[j - 1];
        }
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        for (int j = 1; j < dataGridView2->RowCount; j++)
        {
            if (Input.Frac[i] > Input.Usi_F_read[j - 1] &&
Input.Frac[i] < Input.Usi_F_read[j])
            {
                Input.Unoise[i] = Input.Unoise[i] -
(Input.Usi_U_read[j] * std::log10((Input.Frac[i] / Input.Usi_F_read[j
- 1])) + Input.Usi_U_read[j - 1] * std::log10((Input.Usi_F_read[j] /
Input.Frac[i]))) / std::log10((Input.Usi_F_read[j] /
Input.Usi_F_read[j - 1]));
            }
            else if (Input.Frac[i] == Input.Usi_F_read[j])
            {
                Input.Unoise[i] = Input.Unoise[i] -
Input.Usi_U_read[j];
            }
            else if (Input.Frac[i] == Input.Usi_U_read[j -
1])
            {
                Input.Unoise[i] = Input.Unoise[i] -
Input.Usi_U_read[j - 1];
            }
        }
    }
    Input.R0 = System::Convert::ToDouble(this->textBox1->Text);
    Input.g = System::Convert::ToDouble(this->textBox2->Text);
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        Input.Esh.push_back(std::pow(10, (Input.Usig[i]) /
double(20)));
        Input.Eh.push_back(std::pow(10, (Input.Unoise[i]) /
double(20)));
        Input.L1.push_back(150 / (3.14 * Input.Frac[i]));
        Input.L2.push_back(1800 / Input.Frac[i]);
    }
}

```

```

        Input.lambd.push_back(300 / Input.Frac[i]);
        Input.Eci.push_back(std::pow(10,
(std::sqrt(std::pow(Input.Usig[i],2) -
std::pow(Input.Unoise[i],2))/20)));
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        if (Input.L1[i] > Input.R0)
        {
            Input.Li.push_back(Input.L1[i]);
        }
        else if (Input.L1[i] <= Input.R0)
        {
            Input.Li.push_back(Input.R0);
        }
        else if (Input.L2[i] > Input.R0)
        {
            Input.Li.push_back(Input.L2[i]);
        }
        else if (Input.L2[i] <= Input.R0)
        {
            Input.Li.push_back(Input.R0);
        }
        else
        {
            Input.Li.push_back(0.0);
        }
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        Input.E1i.push_back(Input.Eci[i] * std::pow((Input.R0
/ Input.L1[i]),3));
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        if (Input.R0 < Input.L1[i])
        {
            Input.E2i.push_back(Input.E1i[i] *
std::pow((Input.L1[i] / Input.L2[i]), 2));
        }
        else if (Input.R0 >= Input.L1[i])
        {
            Input.E2i.push_back(Input.Eci[i] *
std::pow((Input.R0 / Input.L2[i]), 2));
        }
    }

```

```

        else
        {
            Input.E2i.push_back(0.0);
        }
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        Input.Ribliz.push_back(Input.R0 / (std::pow((Input.g *
(Input.Eh[i] / Input.Eci[i])), 0.333333333333)));
        Input.Rsred.push_back(Input.Li[i] / std::pow((Input.g
* (Input.Eh[i] / Input.E1i[i])), 0.5));
        Input.Rdal.push_back(Input.Li[i] / (Input.g *
(Input.Eh[i] / Input.E2i[i])));
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView1->RowCount; i++)
    {
        if (Input.Ribliz[i] > Input.L1[i])
        {
            if (Input.Rsred[i] > Input.L2[i])
            {
                Input.Ri.push_back(Input.Rdal[i]);
            }
            else
            {
                Input.Ri.push_back(Input.Rsred[i]);
            }
        }
        else
        {
            Input.Ri.push_back(Input.Ribliz[i]);
        }
    }
    for (int i = 0; i < dataGridView3->RowCount-1; i++)
    {
        dataGridView3->Rows[i]->Cells[0]->Value =
Input.Ribliz[i];
        dataGridView3->Rows[i]->Cells[1]->Value =
Input.Rsred[i];
        dataGridView3->Rows[i]->Cells[2]->Value =
Input.Rdal[i];
        dataGridView3->Rows[i]->Cells[3]->Value = Input.Ri[i];
        if (Input.R2 < Input.Ri[i])
        {
            Input.R2 = Input.Ri[i];
        }
    }

```

```

        }
        label6->Text = System::Convert::ToString(Input.R2);
    }
    private: System::Void label2_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void label7_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void label5_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void button2_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
        Input.Frac.clear();
        Input.Frac.shrink_to_fit();
        Input.Usig.clear();
        Input.Usig.shrink_to_fit();
        Input.Unoise.clear();
        Input.Unoise.shrink_to_fit();
        Input.Esh.clear();
        Input.Esh.shrink_to_fit();
        Input.Eh.clear();
        Input.Eh.shrink_to_fit();
        Input.L1.clear();
        Input.L1.shrink_to_fit();
        Input.L2.clear();
        Input.L2.shrink_to_fit();
        Input.lambd.clear();
        Input.lambd.shrink_to_fit();
        Input.Eci.clear();
        Input.Eci.shrink_to_fit();
        Input.Li.clear();
        Input.Li.shrink_to_fit();
        Input.E1i.clear();
        Input.E1i.shrink_to_fit();
        Input.E2i.clear();
        Input.E2i.shrink_to_fit();
        Input.Ribliz.clear();
        Input.Ribliz.shrink_to_fit();
        Input.Rsred.clear();
        Input.Rsred.shrink_to_fit();
        Input.Rdal.clear();
        Input.Rdal.shrink_to_fit();
        Input.Ri.clear();
    }

```

```

        Input.Ri.shrink_to_fit();
        Input.Usi_F_read.clear();
        Input.Usi_F_read.shrink_to_fit();
        Input.Ukali_F_read.clear();
        Input.Ukali_F_read.shrink_to_fit();
        Input.Usi_U_read.clear();
        Input.Usi_U_read.shrink_to_fit();
        Input.Ukali_U_read.clear();
        Input.Ukali_U_read.shrink_to_fit();
        Input.Usig_Usi.clear();
        Input.Usig_Usi.shrink_to_fit();
        Input.Unoise_Ukali.clear();
        Input.Unoise_Ukali.shrink_to_fit();
        Input.R0 = 0.0;
        Input.g = 0.0;
        Input.R2 = 0.0;
        dataGridView1->Rows->Clear();
        dataGridView2->Rows->Clear();
        dataGridView3->Rows->Clear();
        dataGridView4->Rows->Clear();
        textBox1->Text = System::Convert::ToString(Input.R0);
        textBox2->Text = System::Convert::ToString(Input.g);
        label6->Text = System::Convert::ToString(Input.R2);
    }
    private: System::Void
dataGridView2_CellContentClick(System::Object^ sender,
System::Windows::Forms::DataGridViewCellEventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void label8_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void textBox2_TextChanged(System::Object^
sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void MyForm_Load(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void label9_Click(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
    private: System::Void textBox1_TextChanged(System::Object^
sender, System::EventArgs^ e) {
    }
};
}

```

Приложение Д
(обязательное)

Данные для определения диаграммы направленности

Таблица Д.1 – Данные для определения диаграммы направленности

Градусы, °	U _{сигнала} , дБмкВ
0	54,87
5	54,9
10	54,64
15	54,28
20	54,38
25	54,17
30	53,51
35	52,95
40	52,33
45	51,54
50	49,92
55	49,75
60	47,94
65	46,16
70	44,57
75	42,02
80	40,56
85	38,8
90	40,56
95	41,94
100	42,97
105	44,6
110	48,49
115	49,26
120	48,57
125	49,8
130	50,1
135	50,4
140	51,1
145	51,7
150	52,1
155	52,2
160	52,55
165	52,5
170	52,4
175	52,6
180	52,4
185	52,5
190	52,17
195	51,7
200	51,5
205	51,7

Продолжение таблицы А.1

Градусы, °	U _{сигнала} , дБмкВ
210	50,6
215	50,24
220	48,67
225	48
230	46,46
235	45,3
240	44,1
245	42,3
250	41,13
255	39,12
260	38,45
265	38,6
270	39,8
275	42,64
280	44,2
285	45,8
290	47
295	48,06
300	48,58
305	49,54
310	50,27
315	51,13
320	51,4
325	52,09
330	52,23
335	52,8
340	53
345	53,3
350	53,2
355	53,49

Приложение Е

(обязательное)

Результаты измерения ПЭМИН от реального СВТ

Таблица Е.1 – Результаты измерения ПЭМИН от интерфейса VGA

F, МГц	U _{с+ш} , дБмкВ	U _ш , дБмкВ
74,25	50	24
148,5	42,3	22,5
222,75	41	22
297	36	19
371,25	27,85	10,8
445,5	18	11
519,75	22	11
594	18,7	12
668,25	31	12,2
742,5	16	11,7
816,75	31,3	12,2
891	23,3	12,5
965,25	18,9	12
1039,5	21	11,7
1113,8	23	11,3
1188	22,2	10,85

Таблица Е.2 – Результаты измерения ПЭМИН от интерфейса HDMI

F, МГц	U _{с+ш} , дБмкВ	U _ш , дБмкВ
148,5	62,3	31,4
297	44,5	16
445,5	37	14,9
594	46	16,15
742,5	47	22,8
891	42,95	20,9
1039,5	56,7	34,5
1188	45	34
1336,5	47,69	31,8

Таблица Е.3 – Результаты измерения ПЭМИН от интерфейса USB 2.0

F, МГц	U _{с+ш} , дБмкВ	U _ш , дБмкВ
720	59,1	18,5
960	57,3	24,1
1200	48,3	22

Таблица Е.4 – Результаты измерения ПЭМИН от сетевого интерфейса

F, МГц	U _{с+ш} , дБмкВ	U _ш , дБмкВ
250	41	16,7
375	39,8	18,1
500	42,6	15,9
625	36,7	20,3