

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: физико-технический
Направление подготовки: ядерная физика и технологии
Кафедра: прикладная физика

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Формирование ЭМИ методом преобразования СВЧ импульсов в многоканальной резонансной системе

УДК 621.37, 535.417.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4A	Алексеев Борис Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. №46	Чумерин Павел Юрьевич	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2016г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических исследований в области расчета и проектирования резонансных систем и волноводной техники.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области волноводной техники.
P3	Пользуясь известными теоретическими, физическими и математическими моделями, в области электродинамики, уметь применять их для расчета систем волноводной техники, определять их геометрические размеры, понимать принцип распространения в резонансных системах электромагнитных волн, рассчитывать характеристики, в том числе находить собственные частоты резонаторов.
P4	Разрабатывать новые резонансные системы, позволяющие получать на выходе необходимые параметры импульса.
P5	Оценивать перспективы развития сверхвысокочастотной техники, анализировать риски, которые возможны в работе при расчете и проектировании новых резонансных сверхвысокочастотных систем. Разрабатывать меры по снижению этих рисков при работе за персональным компьютером руководствуясь законами и нормативными документами по защите охраны здоровья.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: (специальность): 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра: Прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ПФ

(Подпись) _____ Вагнер А.Р.
(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4А	Алексеев Борис Александрович

Тема работы:

Формирование ЭМИ методом преобразования СВЧ импульсов в многоканальной резонансной системе	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.03.2016 №1844/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование возможности формирования импульсов электромагнитного излучения наносекундной длительности, путем преобразования многочастотных сигналов в многоканальной резонансной системе. Проектирование проходного резонатора бегущей волны в трехсантиметровом диапазоне волн, в целях передачи максимальной энергии электромагнитных колебаний из одного волноводного тракта в другой, для использования в многоканальной резонансной системе.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Необходимо провести обзор и анализ литературы по тематике диссертации. Проанализировать процесс формирования электромагнитного излучения, путем преобразования сверхвысокочастотных импульсов в многоканальной резонансной системе. Спроектировать проходной резонатор бегущей волны в программе «CST Studio». Рассмотреть производство резонансных систем с экономической точки зрения, а также точки зрения безопасности. Сделать соответствующие выводы.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Коньков А.С., Адександров О.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Die Eigenschaften von den Resonatorsystemen / Характеристики резонаторных систем	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. №46 НИ ТПУ	Чумерин П.Ю.	д.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4A	Алексеев Борис Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4A	Алексеев Борис Александрович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Физика ускорителей

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный план проекта
5. Бюджет проекта
6. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4A	Алексеев Борис Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4A	Алексеев Борис Александрович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Физика ускорителей

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	электробезопасность, пожаробезопасность, требования при работе на ПЭВМ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4A	Алексеев Борис Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 41 с., 27 рис., 5 источн.

Ключевые слова: резонатор бегущей волны, проходной резонатор, согласованная нагрузка, коэффициент связи, амплитуда волны, S – параметр, постоянная времени, добротность, эквидистантный.

Объектом исследования является многоканальная резонансная система.

Цель работы: исследование возможности получения мощных коротких импульсов, путем интерференционного сложения сигналов с генераторов, работающих на эквидистантных частотах.

В работе анализируется возможность увеличения мощности импульса на выходе отдельного генератора до величины равной квадрату количества генераторов, умноженную на мощность отдельного генератора. Определены условия при которых можно получить импульсы, превышающие это значение. В работе также с применением программы электромагнитного моделирования CST Studio спроектирован и анализируется проходной резонатор бегущей волны.

В результате исследования определены параметры для многоканальной резонансной системы, при которых достигается максимальное увеличение мощности на выходе, как для одиночного, так и для последовательности импульсов. Определены размеры проходного резонатора бегущей волны, для максимальной передачи энергии от генератора, на выход системы.

Степень внедрения: высокая.

Область применения: физика ускорителей, дальняя радиолокация.

Экономическая эффективность/ значимость работы: высокая.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяются для обозначения следующие сокращения:

СВЧ – сверхвысокие частоты;

ЭМИ – электромагнитное излучение;

НО – направленный ответвитель.

Оглавление

Введение.....	11
1 Характеристики резонаторных систем	13
1.1 Методы расчета резонаторов и систем на их основе	13
1.2 Метод матриц рассеяния применительно к расчету резонатора с одним элементом связи	13
1.3 Метод матриц рассеяния для расчета резонатора бегущей волны	15
1.4 Добротность резонатора.....	17
1.5 Распространение полей в волноводе.....	18
1.6 Распределение полей в резонаторах	21
2 Интерференционное сложение импульсов с эквидистантными частотами.	22
3 Характеристики проходного резонатора бегущей волны	Ошибка! Закладка не опре
4 Характеристика системы, состоящей из нескольких генераторов	Ошибка! Закладка не опре
4.1 Формирование одиночного импульса	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Последовательность импульсов	Ошибка! Закладка не определена.
5 Проектирование резонатора.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Выбор размеров волновода.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Проектирование волноводного поворота	Ошибка! Закладка не определен
5.3 Проектирование направленного ответвителя	Ошибка! Закладка не опреде
5.4 Проектирование резонансной системы	Ошибка! Закладка не определена.
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	25
6.1 Предпроектный анализ.....	25
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	26
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	27
6.2 SWOT-анализ.....	28
6.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации	30
6.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	31
6.5 Планирование управления научно-техническим проектом	32

6.5.1 Иерархическая структура работ проекта.....	32
6.5.2 Контрольные события проекта.....	32
6.5.3 План проекта	33
6.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	34
6.6.1 Расчет материальных затрат	35
6.6.2 Расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ.....	36
6.7 Затраты на оплату труда исполнителей НТИ	38
6.8 Отчисления во внебюджетные фонды.....	40
6.8.1 Накладные расходы	40
6.9 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ).....	41
6.10 Организационная структура проекта	42
6.11 Матрица ответственности	43
6.12 Определение ресурсной эффективности исследования.....	44
7 Социальная ответственность.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.2.1 Организационные мероприятия.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.2.2 Технические мероприятия.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.2.3 Условия безопасной работы.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.3 Электробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
7.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
Список публикаций студента.....	45

Список литературы	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Одной из важнейших задач электроники СВЧ, является создание высокоэффективных источников мощного импульсного излучения с длительностью импульсов порядка единиц наносекунд. Мощность отдельно взятого генератора ограничена, поэтому для увеличения мощности генератора энергию его импульса достаточно большой длительности накапливают в резонансном объеме, а затем путем быстрого увеличения связи с внешней нагрузкой быстро выводят.

Однако такой способ накопления энергии имеет ряд недостатков, по причине использования при выводе из резонансного объема энергии, нелинейных элементов, таких как СВЧ разрядник или рпн-диод. Такие системы тяжело настраиваются, и на сегодняшний день не существует их промышленного производства.

Существует иной способ накопления энергии СВЧ-колебаний, когда происходит интерференционное сложение колебаний с разными равноотстоящими друг от друга частотами. Тогда в определенные моменты времени, фазы и амплитуды импульсов будут совпадать, и есть возможность получить импульс с мощностью, превышающей мощность суммы питающих генераторов.

К преимуществам такого способа, можно отнести высокую повторяемость получаемых экспериментальных данных, по причине отсутствия необходимости использования в таких устройствах коммутаторов для вывода энергии.

Цель работы: исследование возможности получения мощных коротких импульсов, путем интерференционного сложения сигналов с генераторов, работающих на эквидистантных частотах.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- обзор теоретических сведений по СВЧ – компрессии
- расчет параметров работы многоканальной резонансной системы в программе MatLab
- оптимизация параметров системы в программе MatLab
- проектирование резонатора бегущей волны в CST Studio

Научная новизна заключается в методе, который позволяет интерференционно складывать энергию электромагнитных колебаний не в пространстве, а в волноводной системе, что позволяет использовать выходные импульсы в линейных ускорителях заряженных частиц, а также уменьшить боковые лепестки на диаграмме направленности излучателя при применении в радиолокации.

Актуальность темы обусловлена ограниченными возможностями получаемых характеристик отдельного генератора. При помощи данной системы обеспечивается сокращение импульса на выходе и одновременное увеличение мощности, что позволяет применять данный метод в дальней радиолокации, а также в линейных ускорителях, для уменьшения их длины.

1 Характеристики резонаторных систем

1.1 Методы расчета резонаторов и систем на их основе

Резонатор является самым значительным классом сверхвысокочастотных устройств. Он используется в генераторах, усилителях, фильтрах [1]. Для расчета резонаторов сегодня используется несколько методов: метод эквивалентных элементов, метод матриц рассеяния и появившийся совсем недавно, благодаря развитию компьютерных технологий – метод численного расчета, использующий непосредственно уравнения Максвелла.

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Самым простым и часто используемым методом является метод эквивалентных элементов [1, 2], в котором волноводная система может быть представлена через индуктивности, емкости и сопротивления. Этот метод применим только к резонаторам, имеющим высокую добротность. Метод матриц рассеяния более сложен [1], но он позволяет делать достаточно точные расчеты вблизи резонанса. И наконец, численные методы расчета, через уравнения Максвелла, позволяют делать любые расчеты системы, в том числе и точно, определять размеры системы, но это занимает много времени и вычислительных ресурсов. Для целей численного расчета созданы ряд программ, таких как CST Studio [3], HFSS [4, 5] и др., которые являются эффективным средством проектирования устройств СВЧ.

1.2 Метод матриц рассеяния применительно к расчету резонатора с одним элементом связи

Метод матриц рассеяния подразумевает собой представление рассчитываемой системы как «черный ящик» о котором ничего не известно. Характеристики этого ящика можно найти определив как преобразуется входящий сигнал (рисунок 1).

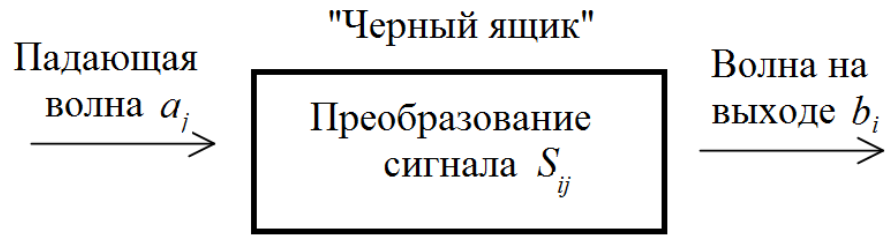


Рисунок 1 – Определение S- матрицы.

Как видно из рисунка, S – параметр определяется как отношение прошедшей волны b_i к падающей волне a_j :

$$S_{ij} = \frac{b_i}{a_j}. \quad (1.1)$$

Рассмотрим резонатор, который представлен на рисунке 2. Волна, которая проходит по волноводу, рядом с отверстием связи разделяется на ту, которая попадает в резонатор и ту, которая отражается от отверстия. Этот процесс в виде матрицы рассеяния можно записать в виде [1, 6]:

$$[S] = \begin{bmatrix} -\sqrt{1-k^2} & jk \\ jk & -\sqrt{1-k^2} \end{bmatrix}, \quad (1.2)$$

где k - действительное число, характеризующее связь через отверстие, называемое коэффициентом связи; j - мнимая единица, характеризующая поворот фазы на 90° ; φ на рисунке 2 – это электрическая длина, т.е. длина которая определяет расстояние от плоскости отсчета 2 (она отлична от плоскости до отверстия связи) до закорачивающей пластины. Именно плоскость 2 определяет резонансную частоту.

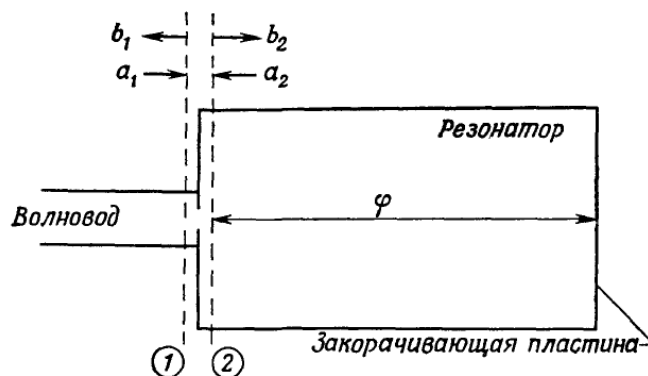


Рисунок 2 – Схема резонатора с одним отверстием связи.

Предположим что полное затухание от плоскости отсчета 2 до закорачивающей пластины равно α (неп). Соотношение между a и b примет вид:

$$a_2 = -b_2 e^{-(\alpha + j2\varphi)}. \quad (1.3)$$

Поэтому отраженные волны определяются, как:

$$\begin{vmatrix} -\sqrt{1-k^2} & jk \\ jk & -\sqrt{1-k^2} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a_1 \\ -b_2 e^{-(\alpha + j2\varphi)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\sqrt{1-k^2} a_1 - jk b_2 e^{-(\alpha + j2\varphi)} \\ jk a_1 + \sqrt{1-k^2} b_2 e^{-(\alpha + j2\varphi)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \end{vmatrix}. \quad (1.4)$$

Отсюда

$$b_1 = - \left(\sqrt{1-k^2} - \frac{k^2 e^{-(\alpha + j2\varphi)}}{1 - \sqrt{1-k^2} e^{-(\alpha + j2\varphi)}} \right) a_1, \quad (1.5)$$

$$b_2 = \frac{jk}{1 - \sqrt{1-k^2} e^{-(\alpha + j2\varphi)}} a_1. \quad (1.6)$$

Для заданных значений полного затухания α и коэффициента связи k величина b_2 является максимальной, когда

$$2\varphi = 2\pi n, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.7)$$

В случае, если условие выполняется то как следует из уравнения (1.5), $|b_1|$ принимает минимальное значение. Это и есть условие резонанса для резонатора с одним коэффициентом связи, при котором b_1 и b_2 соответственно равны.

1.3 Метод матриц рассеяния для расчета резонатора бегущей волны

Рассмотрим теперь резонатор, который позволяет на выходе получать бегущую волну (рисунок 3). Именно такие резонаторы будут использоваться в многоканальной резонансной системе.

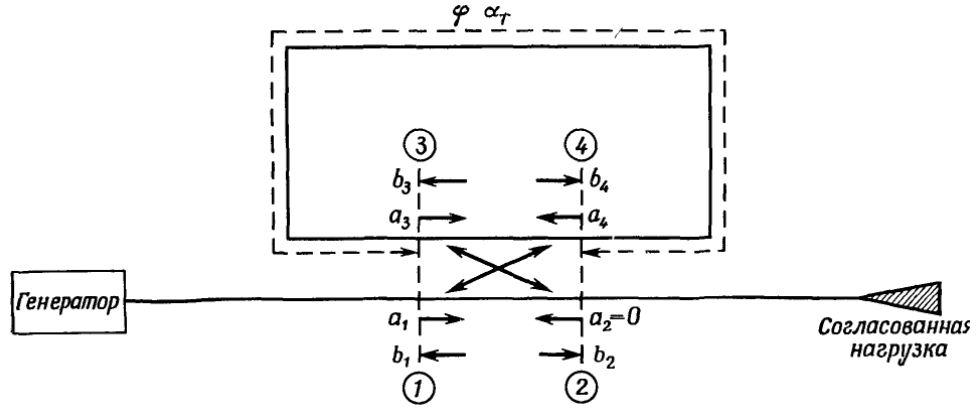


Рисунок 3 – Схема резонатора бегущей волны [1].

Для направленного ответвителя, который обеспечивает распространение бегущей волны в резонаторах подобного типа, матрица рассеяния запишется в следующем виде:

$$|S| = \begin{vmatrix} 0 & \sqrt{1-k^2} & 0 & jk \\ \sqrt{1-k^2} & 0 & jk & 0 \\ 0 & jk & 0 & \sqrt{1-k^2} \\ jk & 0 & \sqrt{1-k^2} & 0 \end{vmatrix}. \quad (1.8)$$

Если входные сигналы подаются ко всем плечам, то получим:

$$b_1 = \sqrt{1-k^2}a_2 + jka_4, \quad (1.9)$$

$$b_2 = \sqrt{1-k^2}a_1 + jka_3, \quad (1.10)$$

$$b_3 = jka_2 + \sqrt{1-k^2}a_4, \quad (1.11)$$

$$b_4 = jka_1 + \sqrt{1-k^2}a_3. \quad (1.12)$$

Определим φ как полный сдвиг фазы, а α как полное затухание по кольцу от плеча 3 до плеча 4. При отсутствии неоднородностей будут выполняться следующие равенства:

$$a_3 = b_4 e^{-(\alpha + j\varphi)}, \quad (1.13)$$

$$a_2 = \Gamma_2 b_2 = 0 \text{ (согласованный вход)}, \quad (1.14)$$

$$a_4 = b_3 e^{-(\alpha + j\varphi)} = 0, \quad (1.15)$$

$$b_1 = b_3 = 0, \quad (1.16)$$

Исключая a_3 , получим:

$$b_2 = - \left(\sqrt{1-k^2} - \frac{k^2 e^{-(\alpha+j\varphi)}}{1-\sqrt{1-k^2} e^{-(\alpha+j\varphi)}} \right) a_1, \quad (1.17)$$

$$b_4 = \frac{jk}{1-\sqrt{1-k^2} e^{-(\alpha+j\varphi)}} a_1. \quad (1.18)$$

Для данного полного затухания α максимальное значение b_4 получим при

$$\varphi = 2\pi n, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.19)$$

При этом, согласно уравнению (1.17), величина b_2 принимает минимальное значение: это условие резонанса.

1.4 Добротность резонатора

Добротность – это один из наиболее часто используемых параметров. Она определяется следующим образом:

$$Q = 2\pi \frac{\text{Энергия накопленная в резонаторе}}{\text{Энергия, рассеиваемая за период}} \bigg|_{\text{на резонансной частоте}}. \quad (1.20)$$

Различают три типа добротности: ненагруженную Q_0 , внешнюю $Q_{\text{вн}}$ и нагруженную Q_n [1, 7].

Ненагруженная добротность Q_0 учитывает энергию, рассеянную за период в самом резонансном объеме на резонансной частоте и определяется, как:

$$Q_0 = 2\pi \frac{\text{Энергия накопленная в резонаторе}}{\text{Энергия, рассеиваемая в резонаторе за период}} \bigg|_{\text{на резонансной частоте}}. \quad (1.21)$$

Таким образом ненагруженная добротность не зависит от связи k , а зависит только от потерь внутри резонатора α (которые в свою очередь зависят от вида колебаний в резонаторе и потерь в диэлектрическом заполнении и стенках).

Внешняя добротность определяет потери во внешней цепи:

$$Q_{\text{вн}} = 2\pi \frac{\text{Энергия накопленная в резонаторе}}{\text{Энергия, рассеиваемая во внешней цепи за период}} \bigg|_{\text{на резонансной частоте}}. \quad (1.22)$$

Понятие внешней добротности не имеет отношения к практике, а является искусственным.

Нагруженная добротность определяется следующим образом:

$$Q_n = 2\pi \frac{\text{Энергия накопленная в резонаторе}}{\text{Энергия, рассеиваемая в резонаторе и во внешней цепи за период}} \bigg|_{\text{на резонансной частоте}}. \quad (1.23)$$

Величина нагруженной добротности является важной характеристикой, так как она включает в себя потери как внутри резонатора, так и потери во внешней цепи. Все эти три типа добротности связаны друг с другом следующим видом [1, 7, 8]:

$$\frac{1}{Q_n} = \frac{1}{Q_{\text{вн}}} + \frac{1}{Q_0}. \quad (1.24)$$

Нагруженная добротность связана со скоростью спада и накопления энергии в резонаторе. Часто эту скорость определяют через величину, называемую постоянной времени τ , которая связана с нагруженной добротностью следующим образом:

$$\tau = \frac{2Q_n}{\omega_0}. \quad (1.25)$$

1.5 Распространение полей в волноводе

Волновод можно представить как резонатор, в котором отсутствует заворачивающая пластина и волна, поэтому может свободно проходить в одну из сторон. Рассмотрим волны, которые могут распространяться в прямоугольном волноводе, представленном на рисунке 4.

В работе мы не будем записывать решение для расчета волновода, а запишем только результаты, получаемые из решения.

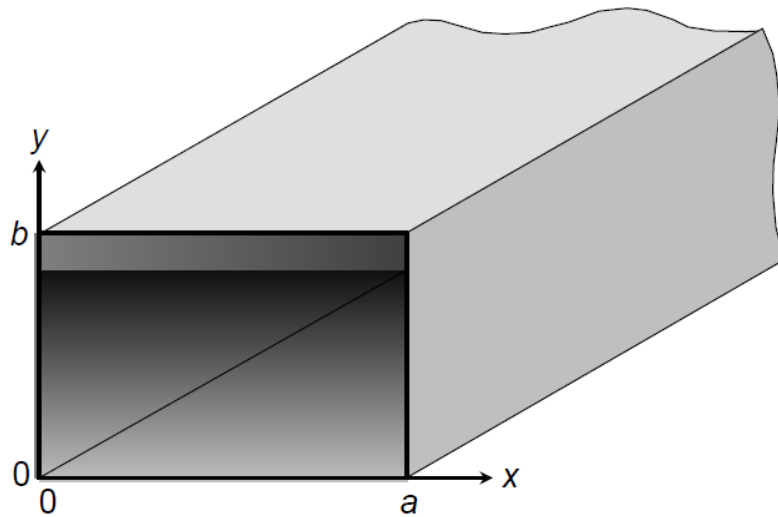


Рисунок 4 – Прямоугольный волновод

Минимальная частота, которая может распространяться в таком волноводе, определяется выражением [8, 9]:

$$\omega_{кр} = \pi c \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}. \quad (1.26)$$

Этой частоте соответствует длина волны:

$$\lambda_{кр} = \frac{2\pi c}{\omega_{cr}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}. \quad (1.27)$$

В прямоугольных волноводах, могут распространяться одновременно несколько типов волн. Волны, у которых нет продольной составляющей электрического поля, т.е. $E_{\parallel} = 0$, называются волнами H - типа или TE - волнами от английского *transverse electrical* – поперечный электрический. Если отсутствует продольная составляющая магнитного поля, т.е. $H_{\parallel} = 0$, то такие волны называются волнами E - типа или TH - волнами (от англ. *transverse magnetic* – поперечный магнитный). Обычно тип волны указывается индексами внизу, которые показывают сколько полуволн укладывается в волноводе, например если распространяется волна E_{21} , то значит по оси x укладывается две полуволны, по стороне y полуволна. То же самое для магнитных типов. Тип резонатора определяет потери, которые возникают при прохождении волны через резонатор.

Для прямоугольного волновода, среди волн E - типа, низшей волной (волна с максимальной длиной волны, что соответствует минимальной частоте) является волна E_{11} , распределение полей для которой представлено на рисунке 5. В работе пунктирными линиями обозначаются магнитные поля, а сплошными линиями – электрические. Для такой волны критическая длина запишется [8, 9]:

$$\lambda_{кр}(E_{11}) = \frac{2ab}{\sqrt{(a)^2 + (b)^2}}. \quad (1.28)$$

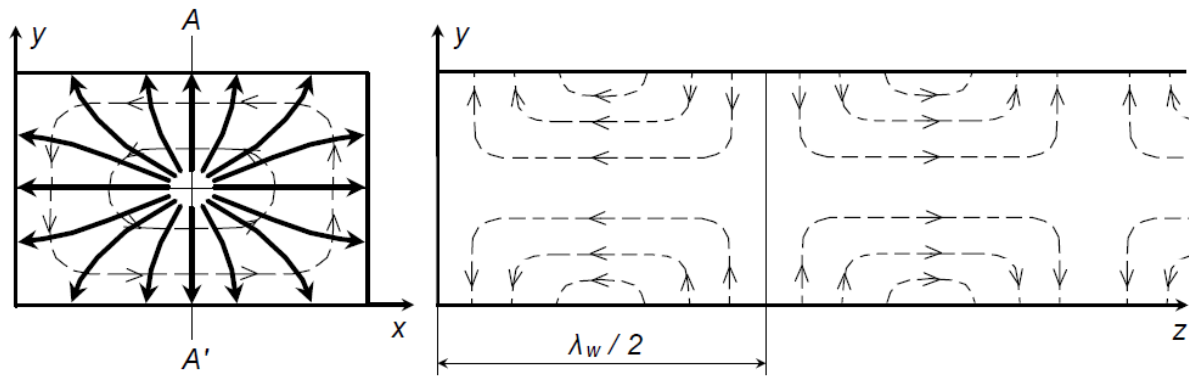


Рисунок 5 – Структура поля волны E_{11} .

Для простейших магнитных волн имеем

$$\lambda_{кр}(H_{01}) = 2b, \quad (1.29)$$

$$\lambda_{кр}(H_{10}) = 2a, \quad (1.30)$$

$$\lambda_{кр}(H_{11}) = \frac{2ab}{\sqrt{(a)^2 + (b)^2}}. \quad (1.31)$$

Заметим, что длина волны $\lambda_{кр}(H_{11})$ равна длине волны $\lambda_{кр}(E_{11})$. Волноводные моды, имеющие одинаковую критическую частоту, но разную структуру полей, называются вырожденными по частоте. Такие волны невозможно разделить в эксперименте, используя лишь частотные измерения.

Волна H_{10} при $a < b$ и H_{01} при $a > b$ называется основной модой волновода. Она имеет минимальную частоту среди всех волн, как

электрических, так и магнитных. При передаче, в большинстве случаев используется именно эта волна.

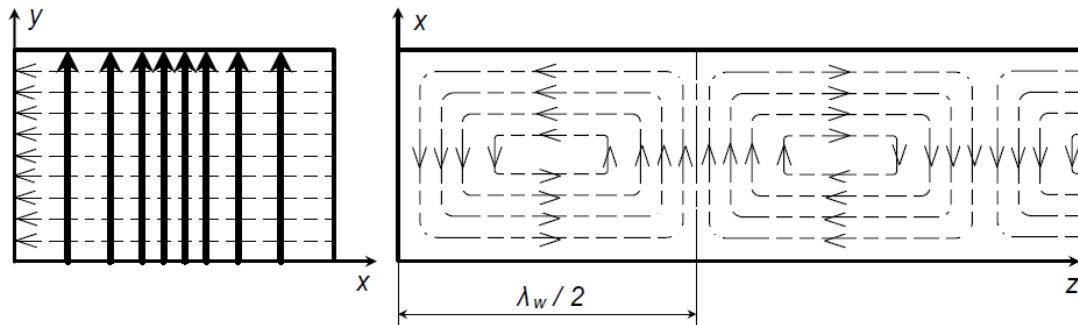


Рисунок 6 – Структура полей волны H_{01} .

1.6 Распределение полей в резонаторах

Выделим отрезок волновода длиной L_z , замкнув его по торцам проводящими плоскостями. В этом случае на торцах можно задать граничное условие, что тангенциальная составляющая электрического поля должна быть равна $E_t = 0$. Таким образом, выражение для волновода теперь будет трехмерным. Собственная частота резонатора будет определяться как [9]:

$$\omega_{mnl} = c \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{L_z}\right)^2}. \quad (1.32)$$

Моды резонатора обозначаются точно так же как и моды для волновода, с добавлением индекса продольных вариаций, например E_{213} .

2 Интерференционное сложение импульсов с эквидистантными частотами

Как известно, если складывать несколько колебаний с разными частотами, то будет наблюдаться перераспределение максимумов и минимумов результирующего колебания [10]. Этот эффект называется интерференцией. Рассмотрим интерференцию для случая, когда частоты складываемых колебаний эквидистантны, то есть когда разница между ближайшими частотами является константой и равна Δf . Математически, этот случай запишется в виде [3]:

$$A_N = \sum_{i=1}^N A_i \sin(2\pi(f_0 + \Delta f)t), \quad (2.1)$$

где N – количество волн (генераторов), t – время, f_0 – минимальная частота волны, A_i – амплитуда i -той волны.

Огибающая данной функции характеризуется тем, что с увеличением количества волн, уменьшается длительность самого большого импульса, так называемого главного лепестка, которая равна $t_{\text{имп}} = 1/N\Delta f$, что показано на рисунке 7. В то же время расстройка между частотами соседних колебаний характеризует частоту появления главных лепестков $\Delta f = f_{\text{имп}}$. Мощность по определению равна квадрату амплитуды волны [10]:

$$P = A_N^2. \quad (2.2)$$

Отсюда следует: если сложить N колебаний с одинаковыми мощностями генератора $P_{\text{ген}}$, то получится, что мощность результирующего импульса будет равна $N^2 P_{\text{ген}}$. На этом принципе работают фазированные антенные решетки [10].

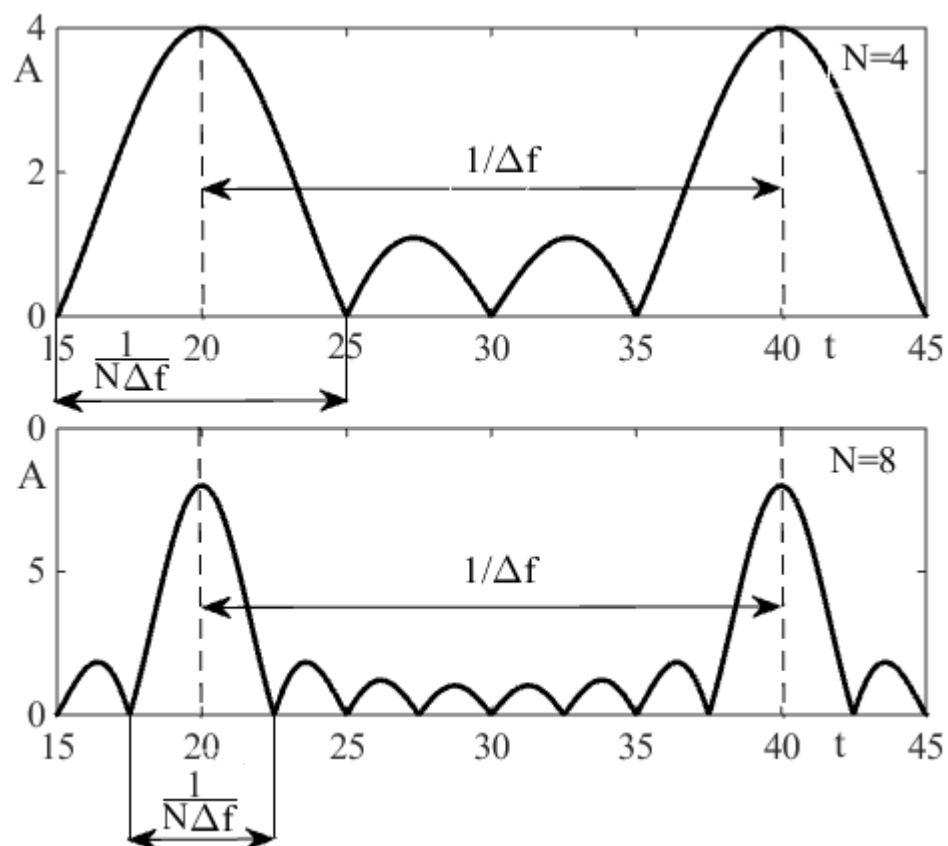


Рисунок 7 – Импульсы, получаемые при сложении волн с эквидистантными частотами при $N = 4$ и $N = 8$

В данной работе, для формирования импульсов больших мощностей, предлагается схема на основе мультиплексора [1]. Основой для него являются проходные резонаторы бегущей волны, резонансные частоты которых друг относительно друга смещены на равные величины частот Δf (рисунок 8) [1].

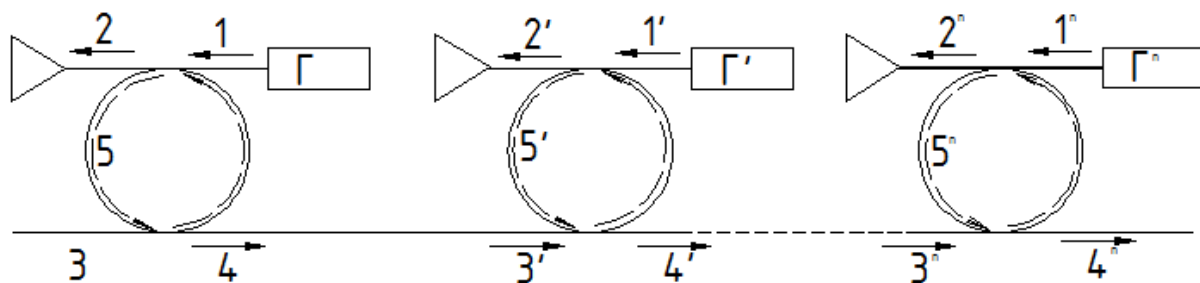


Рисунок 8 – Схема резонансной системы.

Работает такая схема следующим образом: энергия электромагнитной волны, выходящая из генератора (плечо 1), делится на две части, в зависимости от коэффициента связи между генератором и резонатором

бегущей волны k_1 . Энергия, проходящая в плечо 2 из плеча 1 и плеча 5, поглощается в согласованной нагрузке. Энергия, выходящая из плеча 5 в плечо 4, поступает в волновод. Связь между резонатором и волноводом характеризуется коэффициентом связи k_2 . Часть энергии идущей по волноводу может попасть в другие резонаторы, но если резонаторы имеют высокую добротность, то накопление энергии в последующих резонаторах будет незначительным, так как все последующие резонаторы будут иметь другую резонансную частоту [1].

Такая система, за счет использования проходных резонаторов бегущей волны, позволяет отказаться не только от коммутирующих элементов, но и от использования дорогостоящих циркуляторов, применяющихся для отвлечения энергии от генератора [10].

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Предпроектный анализ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [11].

Целевой рынок для разработки этого предприятия занимающиеся разработкой мощных импульсных генераторов, для различных целей, таких как генераторы для дальней радиолокации, либо для ускорителей заряженных частиц.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке СВЧ компрессоров

		Выпускаемая продукция	
		СВЧ компрессоры для ускорителей заряженных частиц	СВЧ компрессоры для дальней радиолокации
месторасположение	Западная Россия	ИПФ	ИПФ, МИФИ
	Урал	ИПФ	ИПФ
	Сибирь	МФТИ	
	Дальний Восток	МФТИ	

ИПФ – Институт прикладной физики (Нижний Новгород)

МИФИ – Московский инженерно–технический институт (Москва)

Из таблицы следует, что ниши производства СВЧ компрессоров для дальней радиолокации на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке не заполнены. Таким образом, в первую очередь разработка должна быть направлена для производства СВЧ компрессоров применительно к использованию именно в этой области. Из – за сложности проектирования предлагаемых в данной работе устройств, привлекательными остаются и сектора, производящие компрессоры для ускорителей заряженных частиц.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты (табл. 4.2). Для этого отобрано две конкурентные разработки. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 4.1, подбирали исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0.02	4	4	4	0.08	0.08	0.08
2. Эффективность преобразования импульса с генераторов	0.16	5	4	3	0.8	0.64	0.48
3. Безопасность	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
4. Надежность	0.15	5	4	4	0.75	0.6	0.6
5. Простота в эксплуатации	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
6. Наличие дорогостоящего оборудования	0.09	4	4	4	0.36	0.36	0.36
7. Направленность излучения	0.02	4	4	3	0.08	0.08	0.06
8. Зависимость стабильности работы от внешних условий	0.15	4	3	3	0.6	0.45	0.45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.03	5	3	2	0.15	0.09	0.06
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0.08	5	4	4	0.4	0.32	0.32
3. Цена	0.1	5	3	3	0.5	0.3	0.3
Итого	1				4.62	3.72	3.51

Позицию разработки и конкурентов оценивали по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_j – балл i -го показателя.

В существующих резонансных системах для увеличения мощности используются дорогостоящие коммутаторы и циркуляторы. Разрабатываемая система их не содержит. Кроме этого, система в которой отсутствуют коммутаторы позволяет увеличить надежность и увеличить долговечность системы, что позволяет опередить конкурентов в таких важных показателях.

Данный анализ позволяет говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

6.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. SWOT-анализ данного научно-исследовательского проекта представлен в таблице 3.

Таблица 3– Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Новизна идеи научного исследования. С2. Достаточная надежность установки. С3. Безопасность работы с установкой. С4. Относительная дешевизна системы С5. Простота эксплуатации установки.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие финансирования. Сл2. Зависимость правильности работы установки от внешних условий Сл3. Трудности при производстве, связанные с точностью изготовления Сл4. Невозможность перенастройки на другие параметры
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Сотрудничество с рядом новых организаций. В4. Использование устаревших методов конкурентами. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: Рост спроса на исследования данного типа за счет распространения на различных установках. Приоритет к данному исследованию по сравнению с конкурентами за счет осуществления должной надежности и безопасности установки.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: Отсутствие большого числа заказов на проведение исследований. Приоритет конкурентных организаций из-за трудности изготовления и не возможности перенастройки устройства
Угрозы: У1. Конкуренция. У2. Отсутствие финансирования со стороны, как университета, так и государства. У3. Сложность поставки образцов для исследований.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: Устойчивость к борьбе с конкурентами за счет новизны идеи. Востребованность технологии за счет ее дешевизны по сравнению с аналогичными образцами.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: Стагнация исследований из-за отсутствия финансирования. Невозможность осуществления ремонта текущей установки без замены составляющих частей.

На основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

6.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 4 – Бланк оценки готовности научного проекта к коммерциализации.

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8	. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	1

11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	41	38

6.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), однократное получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Прибыль от данного исследования будет получаться за счет торговли патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

6.5 Планирование управления научно-техническим проектом

6.5.1 Иерархическая структура работ проекта

В процессе создания иерархической структуры работ проекта (рисунок 34) структурированы и определены содержание всего проекта.



Рисунок 34 –Иерархическая структура работ

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ.

6.5.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые получены по состоянию на эти даты. Информация сведена в таблице 5.

Таблица 5 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка ТЗ на ВКР	08.02.2016	Приказ о ВКР
1.1	Составление и утверждение технического задания	12.02.2016	–
2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	17.02.2016	
2.2	Сбор и изучение научно-технической литературы	17.02.2016 - 28.03.2016	Список литературы
3.2	Проведение теоретических исследований	15.04.2016	Отчет
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	15.04.2016-01.05.2016	–
4.2	Оформление пояснительной записки и презентации	10.05.2016-27.05.2016	Пояснительная записка
4.3	Подготовка к защите ВКР	29.05.2016-10.06.2016	–

6.5.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта (таблица 6.4). Далее с помощью диаграммы Ганта (таблица 6.5) проиллюстрирован календарный план проекта, на котором работы по теме характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ [11].

Таблица 6 – Календарный план проекта

Код	Название	Тк, кал. дн.	Дата начала и окончания работ	Состав участников
1	Разработка ТЗ на ВКР	4	8.02.2016-12.02.2016	руководитель
1.1	Составление и утверждение технического задания	5	12.02.2016-17.02.2016	руководитель
2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	5	17.02.2016-22.02.2016	руководитель магистрант
2.2	Сбор и изучение научно-технической литературы	35	22.02.2016 - 28.03.2016	магистрант
3.2	Проведение теоретических исследований	15	30.03.2016-15.04.2016	руководитель магистрант
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	16	15.04.2016-01.05.2016	руководитель магистрант
4.1	Оценка эффективности полученных результатов	10	01.05.2016-10.05.2016	руководитель магистрант

Таблица 7 – Календарный план-график в виде диаграммы Ганта.

№ Работ	Вид работ	Исполните ли	T_{ki} , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ															
				Феврал ь			Март			Апрель			Май			Июнь			
1	Разработка ТЗ на ВКР	руководит ель	4																
1.1	Составление техническог о задания	руководит ель	5																
2.1	Выбор направления исследовани я и способов решения задач	руководите ль, магистрант	5																
2.2	Сбор и изучение литературы	магистран т	35																
3.2	Проведение эксперимент альных исследован ий	руководите ль, магистран т	15																
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	руководите ль, магистран т	16																
4.2	Составление и оформление ПЗ.	магистран т	17																
4.3	Подготовка к защите.	руководите ль, магистран т	13																



– Руководитель



– Магистрант

6.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы.

2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в НИОКР.

3. Отчисления во внебюджетные фонды.

4. Работы, выполняемые сторонними организациями.

5. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ.

6. Прочие прямые расходы.

7. Накладные расходы.

Статьи 1-6 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного НТИ, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб, они объединяются в статье «Накладные расходы».

6.6.1 Расчет материальных затрат

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Материальные затраты для теоретических расчетов

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	–	210 кВт·ч	2,05	430,5
Бумага	SvetoCopy	110	0,38	41,8
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Cello Writer	1	25	25
Доступ в интернет	–	4 месяца	350	1400
Резонаторное кольцо				
Всего за материалы				2062,3
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого:				2062,3

Определим стоимость материала, исходя из размеров резонаторного кольца 120 мм x 120 мм x 20 мм и учитывая, что стоимость меди составляет

285 руб/кг, а плотность меди 8930 кг/м³. Тогда для резонаторного кольца уйдет меди:

$$m = \rho V = 0.12 \cdot 0.12 \cdot 0.02 \cdot 8930 \approx 2.58 \text{ кг}$$

Таблица 9 – Материальные затраты для теоретических расчетов

Наименование детали (узла)	Количество деталей	Выполняемая функция	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала	Заработная плата руб/х	Себестоимость, руб./шт
Резонаторное кольцо	4	Накопление ЭМ энергии	80	2941.3	250	22941.3
Направленный ответвитель	8	Ответвляет энергию ЭМ волны от генератора	60	2400	250	17400
Согласованная нагрузка генератора	4	Поглощает паразитную энергию	-	15000	-	15000
Итого:						231025,5

Стоимость на одно кольцо, руб:

$$Ц_c = m \cdot Ц = 285 \cdot 2.58 = 735.3$$

Цена четырех колец:

$$Ц_{4c} = 4Ц_c = 2941.2$$

Таким образом, общая сумма составляет 233087.8 руб.

6.6.2 Расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ

Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по тематике диссертации в том числе и затраты на электроэнергию и тепло.

Посчитаем амортизацию на персональный компьютер, стоимость которого составляет 43000, срок годности которого 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (4.2) \quad (6.3)$$

где $C_{об}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{аморт} = (43000 / (5 \cdot 365)) = 23,56 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 60 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{аморт(общ)} = 23.56 \cdot 60 = 1413,6 \text{ руб.}$$

Также рассчитаем затраты на электроэнергию по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (4.3)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,05 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования.кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

При выполнении работы использовался стационарный компьютер со средней мощностью 500 Вт (0,5 кВт). Если предположить, что вся работа выполнялась на нем, то, всего было израсходовано:

$$E = P \cdot F_{об} = 0,5 \cdot 4 \cdot 105 = 210 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

(105календарных дня, четырехчасовой рабочий день)

Затраты на энергию:

$$C = 2,05 \cdot 210 = 430,5 \text{ руб}$$

Затраты на отопление, определяющиеся по следующей формуле:

$$Z_{отоп} = (aTV)C, \quad (4.4)$$

где a – количество тепла на 1 м³ помещения(12,57·10⁻⁵ Гкал);

T – продолжительность отопительного сезона;

V – объем отапливаемого помещения (4х8х2,6 м³);

C – стоимость 1 Гкал тепла (1021,07 руб).

$$Z_{отоп} = (12,57 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 83.2) \cdot 1021,07 = 870,04 \text{ руб.}$$

Затраты на освещение вычисляются следующим образом:

$$Z_{осв} = \frac{(15S_f \cdot M \cdot t)}{1000} \cdot C, \quad (4.5)$$

где S_f – площадь пола (32 м²);

M – количество часов искусственного освещения в сутки (7 ч);

t число рабочих дней (82);

C – стоимость 1 киловатт-часа электроэнергии (2.05 руб.).

$$Z_{\text{осв}} = \frac{(15 \cdot 7 \cdot 32 \cdot 105)}{1000} \cdot 2,05 = 723,24 \text{ руб.}$$

Итого: $1413.6 + 870.04 + 723.24 = 3009,88$ руб.

6.7 Затраты на оплату труда исполнителей НТИ

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (4.8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.9)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

При отпуске в 28 рабочих дней $M=11$ месяцев, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

Основная заработная плата руководителя за период проведения работ (32 рабочих дня) равна:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{28942,87 \cdot 11}{249} = 1278,6$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 1278,6 \cdot 32 = 40915,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 40915,2 = 6137,28 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 40915,2 + 6137,28 = 47052,48 \text{ руб}$$

Заработная плата магистра состоит из стипендии. Магистр, выполнивший данную работу, получает стипендию в размере 5650 руб.

Заработная плата составит:

$$C = 5650 \cdot 3 = 16950 \text{ руб}$$

6.8 Отчисления во внебюджетные фонды.

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1% в 2016 от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИОКР.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.10)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений в социальные фонды;

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot (40915,2 + 6137,28) = 12751,22 \text{ руб.}$$

6.8.1 Накладные расходы

Для учета накладных расходов нужно учесть расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИИ. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{нр} (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.11)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (в ТПУ эта величина равна 25-35 процентов).

Величину коэффициента накладных расходов взята в размере 30%.

$$Z_{накл} = (40915,2 + 6137,28) \cdot 0,3 = 14115,74 \text{ руб.}$$

6.9 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ)

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.10.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Стоимость затрат, в рублях (руководитель+магистр)
1. Материальные затраты НТИ	2062
2. Амортизационные расходы на оборудование	1413.6
3. Затраты на энергию	430,5
4. Затраты на отопление	870.04
5. Затраты на освещение	723,24
6. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57865,2
7. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6137,28
8. Отчисления во внебюджетные фонды	12751,22
9. Накладные расходы	14115,74
10. Бюджет затрат НТИ	96371.82
11. Затраты на производство опытного образца (не входит в защищаемую НИР)	231025,5

В ходе выполнения экономической части ВКР были проведены расчеты плановой себестоимости проведения НТИ и времени, необходимого на проведение ВКР. Плановая себестоимость работы составляет 96371.82 руб., основная составляющая, которой – заработная плата исполнителей НТИ. В будущем, при производстве опытных образцов разрабатываемой техники на систему из четырех резонаторов потребуется затратить еще 231025.5 руб.

6.10 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта — наиболее соответствующая проекту временная организационная структура, включающая всех его участников и создаваемая для успешного достижения целей проекта.

Разработка организационной структуры проекта включает:

- идентификацию всех организационных единиц;
- определение ролей участников проекта и их взаимодействия,
- определение ответственности и полномочий;
- распределение ответственности и полномочий между организационными единицами структуры;
- разработку инструкций, регламентирующих взаимодействия в структуре и рабочие процедуры.

Организационная структура проекта является динамической структурой, которая претерпевает изменения в процессе осуществления проекта. Эти изменения зависят от фаз жизненного цикла проекта, типов, используемых в проекте контрактов, и других условий выполнения проекта. Организационная структура данного проекта представлена на рисунке 4.2.

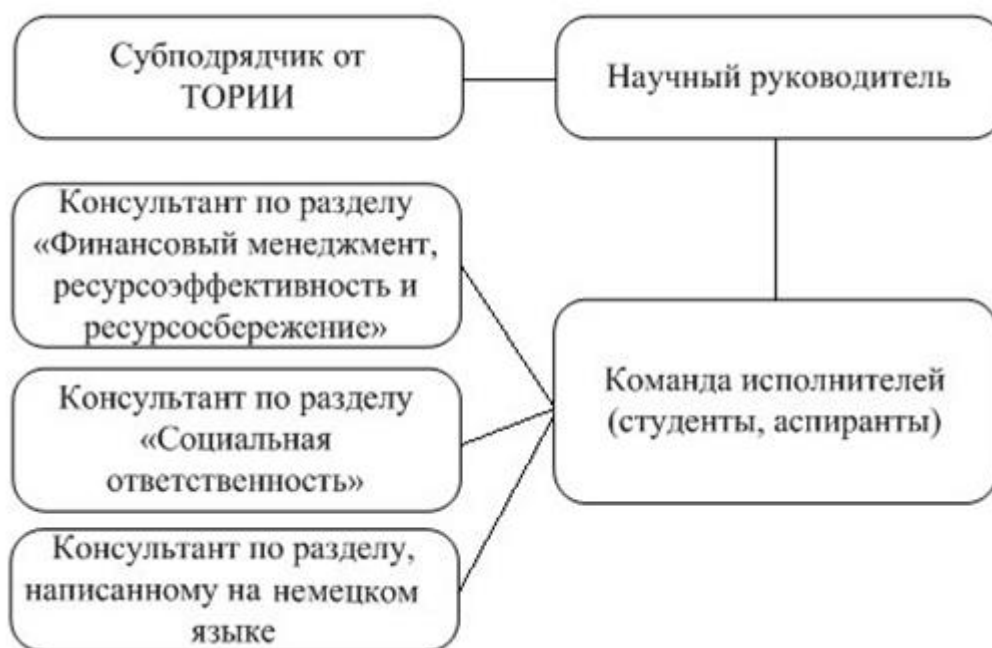


Рисунок 35 –Иерархическая структура работ

6.11 Матрица ответственности

Матрица ответственности определяет степень ответственности каждого члена проекта за ту или иную задачу, если он имеет к ней некоторое отношение.

Таблица 11– Матрица ответственности

Этапы исследования	Научный руководитель	Субподрядчик от ТОРИИ	Консультант Англ.яз.	Консультант менеджмент	Консультант Соц.отв-ть.	Магистрант
Сбор и изучение научно-технической литературы	О					И
Проведение теоретических исследований	О	У				И
Анализ и обработка полученных результатов	О					И
Оценкаресурсоэффективности и ресурсосбережения				С		И
Раздел социальной ответственности					С	И
Перевод раздела на немецкий язык			С			И
Оформление пояснительной записки и презентации	С					И

Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

6.12 Определение ресурсной эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.12)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 12.

Таблица 12– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	4	4
2. Помехоустойчивость	0,1	5	5	5
3. Энергосбережение	0,2	5	4	4
4. Надежность	0,3	5	4	5
5. Материалоемкость	0,2	3	2	2
ИТОГО	1	4,4	4,4	3,7

$$I_{тп} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 = 4,4;$$

$$\text{Аналог 1} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,2 = 3,7;$$

$$\text{Аналог 2} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 = 4,4;$$

Список публикаций студента

1. Mostovshchikov A. V., Iljin A. P., Chumerin P. Y., Yushkov Y. G., Vaulin V. A, Alekseev B. A. The Influence of Microwave Radiation on the Thermal Stability of Aluminum Nanopowder // Technical Physics Letters. – 2016 – Vol. 42 - №.4. – p. 344-346.
2. Artemenko S. N., Kaminsky V. L., Samoylenko G. M., Alekseev B. A. Superconducting Cavities in Systems of the Resonant Microwave Pulse Compression // Advanced Materials Research. – 2015 – Vol. 1084. – p. 266-274.
3. Трясучев В. А., Алексеев Б. А., Яковлева В. С., Кондратьева А. Г. Нерезонансный фон в изобарных моделях фоторождения η -мезонов на нуклонах // Известия вузов. Физика. – 2016 – Т.59 - №. 3. – С. 36-40.
4. Мостовщиков А. В., Ильин А. П., Чумерин П. Ю., Юшков Ю.Г., Ваулин В. А., Алексеев Б.А. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия // Письма в журнал технической физики. – 2016 – Т. 42. – Вып.7. – С. 17-22.
5. Трясучев В. А., Алексеев Б. А. Ограничение на константу псевдоскалярной связи η - мезона с нуклоном из экспериментов по фоторождению η - мезонов // Известия вузов. Физика. – 2014 – Т. 57 - №. 11/2. – С. 28-32.
6. Чумерин П. Ю., Алексеев Б. А. Установившийся режим возбуждения резонатора с произвольным количеством входных элементов связи // Известия вузов. Физика. – 2014 – Т. 57 - №.11/2. – С.94-97.
7. Видяев Д. Г., Орлов А. А., Алексеев Б. А., Шумейко А. О. Исследование влияния температуры и концентрации на вязкость галламы лития // Известия вузов. Физика. – 2013 – Т. 56 - №. 4/2. –С. 87-90.
8. Алексеев Б. А.Чумерин П. Ю. Формирование ЭМИ методом преобразования СВЧ импульсов в многоканальной резонансной системе // [Электронный ресурс] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной

научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 31 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>

9. Алексеев Б. А., Самойленко Г. М. Сверхпроводящие СВЧ резонаторы в системах накопления и преобразования СВЧ энергии // Студент и научно-технический прогресс: Сборник тезисов докладов 54 Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 16-20 апреля 2016 – С. 68.