

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭЭС

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование импульсного конденсатора внутренней установки на напряжение 50 кВ с бумажно-пленочно-масляной изоляцией

УДК 621.319.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Бочков Сергей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ЭЭС	Старцева Е.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Важов В.Ф.	Д.Т.Н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры менеджмента	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ЭБЖ	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭЭС

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____
(Дата) Сулайманов А.О.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2В	Бочков Сергей Владимирович

Тема работы:

Проектирование импульсного конденсатора внутренней установки на напряжение 50 кВ с бумажно-плёночно-масляной изоляцией	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 653/С от 02.02.2016 г.
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	В данной работе необходимо рассчитать и спроектировать высоковольтный импульсный конденсатор для внутренней установки с бумажно-плёночно-масляной изоляцией, масло синтетическое, с параметрами: • Номинальное напряжение 50 кВ; • Емкостью $0,1 \cdot 10^{-6}$ Ф; • Напряжение апериодическое 1,2/50; • Время жизни 10^5 имп.; • Частота 1 имп/с.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Выбор и расчет основной изоляции. Расчет секции и всего конденсатора. Определение конструктивных и удельных характеристик. Тепловой расчет. Дополнительно рассматриваться вопросы относятся к разделам «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором производится технико-экономическое обоснование исследовательской работы, и раздел «Социальная ответственность», в котором рассматриваются проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Перечень графического материала		Электрическая схема конденсатора. Чертеж секции. Сборочный чертеж конденсатора. Спецификация.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения	Важов В.Ф., д.т.н., доцент	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Н.В., старший преподаватель	
Социальная ответственность	Романцов И.И., к.т.н., старший преподаватель	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ЭЭС	Старцева Е.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Бочков С.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5A2B	Бочков Сергей Владимирович

Институт		Кафедра	Электроэнергетических систем
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Провести анализ конкурентных технических решений (разработок); провести оценку перспективности научного исследования, используя технологию QuaD.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Составить перечень этапов работ и распределение исполнителей, определить трудоемкость работ, разработать календарный план-график (график Ганта); Рассчитать бюджет, необходимый для проектирования высоковольтного ввода.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определить ресурсную эффективность проводимого проекта с помощью интегрального показателя.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Календарный план-график проведения работ по НИ
3. Бюджет НИ
4. Оценка ресурсной эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. менеджмента	Потехина Н. В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Бочков С.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5A2B	Бочков Сергей Владимирович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Рабочее место представляет собой офисное помещение, в котором находится электроприборы. Вредные факторы производственной среды относятся: – шумов (что может неблагоприятно сказываться на состоянии здоровья персонала, – электромагнитного излучения, – освещение, – микроклимат помещения. В помещении возможны проявления таких факторов производственной среды, как поражение персонала электрическим током, при прикосновении к изолированным от земли конструкциям. При эксплуатации электроприборов могут возникнуть аварийные ситуации, в ходе которых возможно появление пожаров, что является чрезвычайной ситуацией. Это поможет повлечь за собой возгорание всего здания.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	1. Правилами устройства электроустановок; 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Требования к микроклимату в помещении описаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Повышенный уровень шума оказывает негативное влияние на здоровье человека Требования к напряженности электромагнитного поля и освещенности помещения описаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
--	---

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	В каких случаях может произойти поражение электрическим током в офисном помещении. Меры безопасности от поражения электрическим током
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Компоненты компьютера, оказывающие вредное влияние на организм человека и окружающую среду
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Самым распространенным фактором, который может привести к ЧС является пожар. Подробно рассмотреть пожарно-профилактические, организационные и эксплуатационные мероприятия.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Рассмотреть основные организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	—

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	Ст. преподаватель		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Бочков С.В.		

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования Бакалавриат

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

Период выполнения Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2015 г.	Литературный обзор	3
25.03.2015 г.	Выбор основных изоляционных материалов и выбор рабочей и испытательной напряженностей	3
02.04.2015 г.	Расчет секции конденсатора	2
18.04.2015 г.	Расчет корпусной изоляции	4
21.04.2015 г.	Расчет выводов конденсатора	2
25.04.2015 г.	Тепловой расчет конденсатора	3
15.05.2015 г.	Расчет удельных характеристик конденсатора	3
22.05.2015 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
30.05.2015 г.	Социальная ответственность	5
08.06.2015 г.	Оформление работы	10
09.06.2015 г.	Итог	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ЭЭС	Старцева Е.В.			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 81 страниц, 16 рисунков, 20 таблиц, 20 источников, 4 приложений, включает 4 главных раздела.

Ключевые слова: импульсный конденсатор, бумажно-плёночно-масляная изоляция, синтетическое масло, грозовой импульс.

Объектом исследования является импульсный конденсатор для внутренней установки: $U_{п}=50$ кВ, $C=0,1 \cdot 10^{-6}$ Ф, изоляция бумажно-плёночно-масляная, масло синтетическое, корпус металлический, напряжение апериодическое $1,2/50$, время жизни 105 имп., частота 1 имп/с.

В работе произведен электрический расчет импульсного конденсатора, выбран материал диэлектрика и схема соединения секций. Произведен тепловой расчет, так же в работе выполнено сравнение основных видов изоляции использованных для производства импульсных конденсаторов. Был выполнен расчет стоимости ресурсов научного исследования, произведено описание рабочего места и использованных законодательных и нормативных документов.

В процессе работы использовались современные программные продукты Microsoft Office 2013, MathCAD 15, КОМПАС V16, аналитические расчетные методы.

Список используемых сокращений

БПИ – бумажно-плёночная изоляция;

Ч.Р. – частичные разряды;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

КОН – обычная конденсаторная бумага;

ПЭТ – Полиэтилентерефталат;

НИПКТИ – Научно-исследовательский проектный и конструкторско-технологический институт;

НИ – научное исследование;

ESC – equivalent series capacitance (эквивалентная последовательная ёмкость);

СКОН – специальная конденсаторная бумага повышенной надёжности;

МКОН – конденсаторная бумага с малыми диэлектрическими потерями;

ЭМКОН – конденсаторная бумага высокой электрической прочности;

ГОСТ – государственный стандарт;

НТИ – научно-техническое исследование;

ФСС – фонд социального страхования;

ФФОМС – федеральный фонд обязательного медицинского страхования;

СанПиН – санитарные правила и нормы;

ЭВМ – электрическая вычислительная машина;

ПЭВМ – персональная электрическая вычислительная машина;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

QUAD – Quality Advisor (технология оценки перспективности разработки).

Содержание

Введение.....	12
1 Литературный обзор.....	14
1.1 Изоляционные материалы, применяемые в импульсных конденсаторах..	14
1.1.1 Жидкие диэлектрики	15
1.1.2 Конденсаторная бумага и пленочные диэлектрики	18
1.2 Типы импульсных конденсаторов и их конструкция.....	21
1.2.1 Отечественные типы импульсных конденсаторов.....	21
1.2.2 Типы импульсных конденсаторов зарубежных фирм	25
1.3 Надежность импульсных конденсаторов	26
Выводы по главе.....	28
2 Проектирование высоковольтного импульсного конденсатора	29
2.1 Электрический расчет конденсатора	29
2.1.1 Выбор основных материалов. Расчет диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции	29
2.1.2 Выбор рабочей и испытательной напряженностей в диэлектрике конденсатора	34
2.1.3 Расчет секции конденсатора	36
2.1.4 Конструирование пакета секций. Расчет корпусной изоляции	39
2.1.5 Расчет выводов конденсатора.....	43
2.2 Тепловой расчет конденсатора	45
2.2.1 Расчет потерь в диэлектрике	46
2.2.2 Расчет максимальной температуры внутри конденсатора	48
2.3 Удельные характеристики конденсатора	50
2.3.1 Расчет удельной энергии конденсатора	50
Выводы по главе.....	52
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	53
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	53

3.1.2 Технология QuaD	55
3.2 Планирование научно-исследовательских работ	57
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	57
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	59
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	60
3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	64
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	65
3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	66
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
3.3.5 Накладные расходы	68
3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	68
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования	69
Выводы по главе.....	71
4 Социальная ответственность	72
4.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	72
4.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	76
4.3 Охрана окружающей среды	77
4.4 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	78
4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	80
Заключение	82
Список источников	83
Приложение А.....	85
Приложение Б	86
Приложение В.....	87
Приложение Г.....	88

Введение

Конденсаторостроение представляет собой важную отрасль народного хозяйства, которая удовлетворяет широкие потребности электроэнергетики, электротехнической и радиоэлектронной промышленности в различных видах конденсаторов. В настоящее время область применения конденсаторов очень обширна. Это силовые (косинусные), электротермические и высоковольтные конденсаторы, применяемые в электроэнергетике, конденсаторы связи, автомобильные, телефонные конденсаторы. В электротехнике и радиоэлектронике широко применяются различные виды электролитических, слюдяных, бумажных, керамических и стеклокерамических конденсаторов.

Высоковольтные импульсные конденсаторы применяются в настоящее время во многих отраслях науки и техники. Эти конденсаторы широко используются в установках для высоковольтных импульсных испытаний силовых трансформаторов, аппаратов, кабелей и внешней изоляции линий электропередачи (генераторы импульсных напряжений, генераторы коммутационных перенапряжений, генераторы импульсных токов). Импульсные конденсаторные установки используются для ряда электротехнологических целей – магнитной штамповки, дроблении пород, сейсмической разведки и др.

Сравнение накопителей энергии различных типов показывает, что конденсаторы обладают значительно меньшим энергосодержанием в единице объема, чем другие виды накопителей. Однако они могут обеспечить значительно больший импульсный ток благодаря меньшему внутреннему сопротивлению (индуктивности) и значительно большую мощность в импульсе.

Импульсные конденсаторы должны обладать;

- 1) возможно большим запасом энергии в единице объема;
- 2) малой внутренней индуктивностью и относительно хорошей добротностью;
- 3) высокой динамической устойчивостью внутренних соединений секции и групп секций, а также контактных соединений;

- 4) конструкций, обеспечивающей возможно меньшие габариты и удобное соединение конденсаторов в батарее малой индуктивности;
- 5) достаточным сроком службы в режиме многократных разрядов на малую индуктивность[1].

В 1 главе данной работе представлена краткая информация о изоляционных материалах, применяемые в импульсных конденсаторах, типы импульсных конденсаторов и их конструкции, условие надежности.

Глава 2 настоящей работы посвящена непосредственно проектированию импульсного конденсатора. В нем подробно рассказывается как производится электрический, тепловой расчет, Расчет удельных характеристик конденсатора, а также конструирование секций и конденсатора в сборе.

В главе номер 3 проведена оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Произведено планирование и формирование бюджета. Также в работе определена ресурсная (ресурсосберегающая) эффективность исследования.

Последняя глава ВКР посвящена анализу воздействующих в процессе работы опасных и вредных факторов и выработке методов защиты от негативного действия этих факторов. Произведен анализ вредных факторов таких как: отклонение показателей микроклимата в помещении, уровня шума, электромагнитных и ионизирующих излучений. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а также правовые вопросы обеспечения безопасности.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В производстве импульсных конденсаторов могут применяться как отдельно бумага или плёнка, так и комбинированная, бумажно-пленочная изоляция. Поэтому необходимо провести анализ конкурентных технических решений чтобы сравнить проектируемое оборудование с конкурентным, и убедиться, что оно не уступает по качеству и отвечает всем требованиям эффективности и надежности при эксплуатации.

Целесообразно проводить анализ конкурентоспособности с помощью оценочной карты (таблица 5). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок. В качестве последних будем рассматривать следующие:

1) Электроизоляционная конденсаторная бумага. В отдельных случаях применяется более дешёвая кабельная бумага. Бумага обладает высокими значениями электрической и механической прочности и может быть изготовлена в виде гибких лент малой толщины: 5–30 мкм – для конденсаторной и 15–240 мкм – для кабельной бумаги.

Изоляционная бумага является полярным диэлектриком, что определяется наличием гидроксильных групп ОН в молекулах клетчатки, $\tan \delta$ которой при температуре 20°C и частоте 50 Гц равен $(6-7) \cdot 10^{-3}$.

2) Для изготовления конденсаторов повышенной добротности, предназначенных для работы при частотах от 10^6 Гц и выше, применяются пленки из синтетических неполярных диэлектриков, таких как полистирол, полиэтилен, политетрафторэтилен (фторопласт-4), полипропилен.

Как видно из приведенных данных, неполярные пленки обладают низким $tg\delta$, порядка $(1-4) \cdot 10^{-4}$, высоким удельным объемным сопротивлением ($\rho=1017-1018 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при 20°C) и небольшой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon/\epsilon_0=2-2,5$).

Большинство пленок обладает весьма высокой электрической прочностью (на постоянном напряжении при больших площадях электродов $300-400 \text{ кВ/мм}$).

3) Комбинированная бумажно-пленочная изоляция приняла все положительные стороны этих двух изоляционных материалов. Так пленка обладающая низким $tg\delta$ и высокой электрической прочностью. А бумага выполняет роль фитиля для пропитки жидким диэлектриком под вакуумной сушкой. Вакуумная сушка применяется для удаления влаги, а пропитка производится для замены воздуха, находящегося в порах бумаги или между слоями пленочных диэлектриков, жидким диэлектриком, обладающим более высокими чем у воздуха электрической прочностью и диэлектрической проницаемостью.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены в табл. 8. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная (баллы заносятся в столбцы 3,4,5). Веса показателей (столбец 2), определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. В столбцы 6,7 и 8 заносятся оценки с учетом весовых коэффициентов по каждому критерию. В последней строчке пишется итоговая оценка конкурентоспособности

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.1.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя [16].

Таблица 8. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф б-п	Б _{к1} бумаг	Б _{к2} пленк	К _ф б-п	К _{к1} бумаг	К _{к2} пленк
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность работы	0,096 (5)	5	4	5	0,48	0,384	0,48
2. Удобство в эксплуатации (габаритные размеры)	0,058(3)	4	5	4	0,232	0,29	0,232
3. Электрическая прочность изоляции	0,096 (5)	5	3	4	0,48	0,288	0,384
4. Диэлектрическая проницаемость	0,096 (5)	5	3	5	0,48	0,288	0,48
5. Механическая прочность	0,077 (4)	5	3	4	0,385	0,231	0,308
6. Диэлектрические потери	0,096 (5)	5	4	5	0,48	0,384	0,48
7. Простота изготовления	0,077 (4)	3	4	4	0,231	0,308	0,308
8. Пожаро- и взрывобезопасность	0,096 (5)	5	4	4	0,48	0,384	0,384
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость продукта	0,096 (5)	3	5	4	0,288	0,48	0,384
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,077 (4)	5	4	4	0,385	0,308	0,308
3. Послепродажное обслуживание	0,077 (4)	4	4	4	0,308	0,308	0,308
4. Финансирование научной разработки	0,058(3)	5	4	4	0,29	0,232	0,232
Итого	1 (52)				4,519	3,885	4,288

3.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект [16].

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

- 1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки;
- 2) Показатели оценки качества разработки.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по столбальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 9. Оценочная карта качества и перспективности разработки по технологии QuaD

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Надежность работы	0,089 (5)	90	100	0,9	8,01
2. Пожаробезопасность	0,089 (5)	80	100	0,8	7,12
3.Уровень материалоемкости разработки	0,071 (4)	65	100	0,65	4,615
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,089 (5)	85	100	0,85	7,565
5.Ремонтопригодность	0,071 (4)	60	100	0,6	4,26
6.Простота изготовления	0,071 (4)	70	100	0,7	4,97
7. Габаритные размеры	0,089 (5)	85	100	0,85	7,565
8.Простота обслуживания	0,071 (4)	65	100	0,65	4,615
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
9.Конкурентоспособность продукта	0,071 (4)	75	100	0,75	5,325
10. Стоимость продукта	0,089 (5)	80	100	0,8	7,12
11.Предполагаемый срок эксплуатации	0,071 (4)	85	100	0,85	6,035
12.Затраты на послепродажное обслуживание	0,054 (3)	55	100	0,55	2,97
13.Финансирование научной разработки	0,071 (4)	65	100	0,65	4,615
Итого	1 (56)				74,785

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.1.2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая [16].

По результатам оценки качества и перспективности значение показателя P_{cp} получилось равным 74,785, что говорит о том, что перспективность разработанного конденсатора выше среднего значения, а значит, что спроектированный импульсный конденсатор имеет перспективу на рынке, и необходимо инвестировать средства в данную разработку и для дальнейшего улучшения характеристик.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования.

Для выполнения работ по проектированию формируется группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры и лаборанты. Для проектирования высоковольтного ввода была сформирована группа, в состав которой входят руководитель и студент-дипломник (инженер). По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей [16].

В данном разделе был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 10.

Таблица 10. Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Выбор материалов изоляции	Инженер
	7	Электрический расчет конденсатора	Инженер
	8	Выбор конструкции конденсатора	Инженер
	9	Тепловой расчет конденсатора	Инженер
	10	Расчет удельной энергии конденсатора	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Анализ полученных результатов	Руководитель Инженер
	12	Оценка эффективности полученных результатов	
Разработка технической документации и проектирование	13	Построение схемы соединения секций	Инженер
	14	Построение сборочного чертежа	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5}, \quad (3.2.1)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{махи}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (3.2.2)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [16].

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением графиком проведения работ является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.2.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.2.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году [16].

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа.

Пример расчета (для пункта «составление и утверждение технического задания»):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 3 \text{ чел.} - \text{дн};$$
$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{3}{1} = 3 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 116 - 14} = 1,551;$$

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 3 \cdot 1,551 = 4,653 \approx 5 \text{ дней.}$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 11.

Таблица 11. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в кален- дарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожид}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2		4		3		3		5	
Подбор и изучение материалов по теме		5		7		6		6		9
Выбор направления исследований		3		4		3		3		5
Календарное планирование работ по теме	4		6		5		5		8	
Проведение теоретических расчетов и обоснований		5		7		6		6		9
Выбор материалов изоляции		7		9		8		8		12
Электрический расчет конденсатора		2		4		3		3		5
Выбор конструкции конденсатора		2		3		2		2		3
Тепловой расчет конденсатора		3		5		4		4		6
Расчет удельной энергии конденсатора		1		3		2		2		3
Анализ полученных результатов	2	4	4	6	3	5	2	3	3	5
Оценка эффективности полученных результатов	5	7	9	12	7	9	4	5	6	8

Продолжение таблицы 11.

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в кален- дарных днях T_{ki}	
	$t_{min},$ чел-дни		$t_{max},$ чел-дни		$t_{ож},$ чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Построение схемы соединения секций		2		3		2		2		3
Построение сборочного чертежа		6		8		7		7		11
Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации)		7		9		8		8		12

На основе таблицы 11 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 12. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра б	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал.дн .	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9														
3	Выбор направления исследований	Инженер	5														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	8														
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	9														
6	Выбор материалов изоляции	Инженер	12														
7	Электрический расчет конденсатора	Инженер	5														
8	Выбор конструкции конденсатора	Инженер	3														
9	Тепловой расчет конденсатора	Инженер	6														
10	Расчет удельной энергии конденсатора	Инженер	3														
11	Анализ полученных результатов	Руководитель, инженер	5														
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер	8														
13	Построение схемы соединения секций	Инженер	3														
14	Построение сборочного чертежа	Инженер	11														
15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	12														

 – руководитель;  – инженер.

Таким образом, видим, что длительность работ в календарных днях руководителя составляет 26 дней, инженера – 91 дня. Планирование работ по НИОКР проведено рационально, поскольку до защиты ВКР остается время в запасе около 20 дней.

3.3 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 будем использовать следующую группировку затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

В следующей таблице приведена стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 13. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Бумага для принтера	Пачка	1	300	300
Ручки	шт.	2	45	90
Карандаши	шт.	1	10	10
Калькулятор инженерный	шт.	1	500	500
Картридж для принтера	шт.	1	1500	1500
Дырокол	шт.	1	300	300
Папка-скоросшиватель	шт.	1	25	25
Итого				2725

3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В этот раздел входит основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Месячный должностной оклад работников:

- Руководитель

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 16751,29 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 32665 \text{ руб.}, \quad (3.3.1)$$

- Инженер

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29250 \text{ руб.},$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

- Руководитель

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{32665 \cdot 10,4}{245} = 1385,6 \text{ руб.}, \quad (3.3.2)$$

- Инженер

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{29250 \cdot 10,4}{245} = 1241,6 \text{ руб.},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 14. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
• выходные дни	52	52
• праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
• отпуск	48	48
• невыходы по болезни	7	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

- Руководитель

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1385,6 \cdot 26 = 36025,6 \text{ руб.}, \quad (3.3.3)$$

- Инженер

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1241,6 \cdot 91 = 112985,6 \text{ руб.},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Таблица 15. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	16751,29	0,3	0,2	1,3	32665	1385,6	26	36025,6
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1241,6	91	112985,6
Итого								149011,2

3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.3.4)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

- Руководитель

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,14 \cdot 36025,6 = 5043,6 \text{ руб.};$$

- Инженер

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,14 \cdot 112985,6 = 15818 \text{ руб.};$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,14.

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.3.5)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 16.

Таблица 16. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	36025,6	5043,6
Инженер	112985,6	15818
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	11129,8	
Инженер	34905,8	

3.3.5 Накладные расходы

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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \quad (3.3.6)$$

$$= (2725 + 149011,2 + 20861,6 + 46035,6) \cdot 0,16 = 34981,3 \text{ руб.},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17.

Таблица 17. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты НТИ	2725	1,07
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	149011,2	58,75
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20861,6	8,24
4. Отчисления во внебюджетные фонды	46035,6	18,15
5. Накладные расходы	34981,3	13,79
6. Бюджет затрат НТИ	253615	100

3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.4.1)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 18.

В качестве возможных исполнений проекта условно были приняты: исполнение 1 – конденсатор с бумажной изоляцией; исполнение 2 – конденсатор с пленочной изоляцией; исполнение 3 – конденсатор с бумажно-пленочной изоляцией.

Таблица 18. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Уровень технологических показателей	0,18	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям установки на ПС)	0,13	5	3	4
3. Ремонтопригодность	0,11	5	4	5
4. Надежность	0,17	3	5	5
5. Материалоемкость	0,15	3	5	4
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,16	3	5	5
7. Затраты на послепродажное обслуживание	0,1	3	4	5
Итого	1	3,66	4,35	4,72

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,11 + 3 \cdot 0,17 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,16 + 3 \cdot 0,1 = 3,66;$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,13 + 4 \cdot 0,11 + 5 \cdot 0,17 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,1 = 4,35;$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,11 + 5 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,16 + 5 \cdot 0,1 = 4,72.$$

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.