

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование электрофизических характеристик модифицированной древесины

УДК 674.038.5-048.25:537-02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ71	Тепляков Артём Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лопаткин Сергей Анатольевич	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер НПЛ ЧВ	Смердов О.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	К.Т.Н.		

Томск – 2019

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания и обработки <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания <i>новых</i> материалов в <i>сложных</i> и <i>неопределенных</i> условиях
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ71	Теплякову Артёму Викторовичу

Тема работы:

Исследование электрофизических характеристик модифицированной древесины	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№3830/с от 16.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исходными данными к работе являются литературные данные, данные по существующим методам модифицирования древесины
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	- Литературный обзор (процесс пропитки древесины); - Разработка методики проведения исследования воздействия модифицирования древесины на её электрофизические характеристики качества пропитки; - Проведение экспериментов с использованием спроектированной установки по автоклавной пропитке древесины с воздействием

	высокочастотного электрического поля; - Заключение и выводы по работе.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Characteristics of wood and methods of its modification	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.01.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ71	Тепляков Артём Викторович		

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.01.2019	Изучение литературных источников по теме исследования	15
8.02.2019	Пропитка заготовок древесины модифицирующими составами, сушка	20
1.03.2019	Изготовление образцов	20
25.04.2019	Экспериментальное определение влияния модифицирования на электрофизические характеристики древесины	25
15.05.2019	Финансовый менеджмент	5
25.05.2019	Социальная ответственность	5
27.05.2019	Разделы, выполненные на иностранном языке	10

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 131 страницу, 26 рисунков, 55 таблиц, 29 источников, 6 приложений.

Ключевые слова: МОДИФИЦИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРОПИТКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Объект исследования – древесина берёзы и сосны, импрегнированная водными растворами антисептиков и антипиренов, парафином.

Цель работы – исследование влияния процесса модифицирования древесины на диэлектрическую проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, электрическую прочность, предел механической прочности, водопоглощение.

В ходе работы выяснено, что пропитка водными растворами сульфата аммония и жидкого стекла влияет на тангенс угла диэлектрических потерь в сторону его повышения. Пропитка карбамидом снижает электрическую прочность древесины берёзы. Пропитка поливиниловым спиртом повышает предел механической прочности. Пропитка всеми рассмотренными водными растворами повышает водопоглощение. Пропитка парафином увеличивает электрическую прочность и снижает водопоглощение.

Определения

Модифицирование древесины – процесс направленного изменения физико-механических, триботехнических, биохимических свойств древесины применительно к условиям эксплуатации изделий из неё.

Пропитка древесины – введение в древесину различных составов веществ, обеспечивающих повышение её био- и огнестойкости, прочности, твёрдости, снижение электрической проводимости, изменение цвета. Жидкости проникают в древесину под действием капиллярных сил или избыточного давления.

Сокращения

ПВС – поливиниловый спирт

ПК – персональный компьютер

Оглавление

Введение	11
1 Древесина. Модифицирование. Обзор свойств и методов.....	13
1.1 Строение древесины.....	13
1.2 Методы модифицирования древесины.....	16
1.3 Электрофизические свойства древесины	17
2 Объект и методы исследования	21
2.1 Древесина берёзы и сосны.....	21
2.2 Применяемые пропиточные составы.....	22
2.3 Метод пропитки.....	23
2.4 Методика исследований	27
2.4.1 Подготовка образцов	27
2.4.2 Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь	28
2.4.3 Измерение электрической прочности	31
2.4.4 Измерение предела механической прочности при статическом изгибе и при сжатии вдоль волокон	33
2.4.5 Измерение водопоглощения.....	33
3 Результаты проведённых исследований.....	35
3.1 Пропитка древесины	35
3.2 Исследование диэлектрической проницаемости.....	35
3.3 Исследование тангенса угла диэлектрических потерь	39
3.4 Исследование электрической прочности	42
3.5 Исследование предела механической прочности.....	43
3.6 Исследование водопоглощения	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
4.2 SWOT-анализ	49

4.3 Планирование научно-исследовательской работы	52
4.4 Бюджет научного исследования	56
4.4.1 Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия.....	56
4.4.2 Основная заработная плата	57
4.4.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	59
4.4.4 Отчисления на социальные нужды	59
4.4.5 Накладные расходы.....	60
4.4.6 Амортизация	60
4.5 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования	62
4.6 Определение ресурсоэффективности исследования.....	63
5 Социальная ответственность.....	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
5.2 Производственная безопасность	68
5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при проведении исследований.....	69
5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при проведении исследований.....	73
5.2 Экологическая безопасность	74
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	74
Заключение.....	77
Список использованных источников.....	78
Приложение А – Characteristics of wood and methods of its modification.....	81
Приложение Б – Перечень пропитанных заготовок.....	94
Приложение В – Результаты измерений ёмкости и тангенса угла диэлектрических потерь...	97
Приложение Г – Результаты измерения электрической прочности	121
Приложение Д – Результаты измерения предела механической прочности	126
Приложение Е – Результаты измерения водопоглощения	129

Введение

Древесина представляет собой капиллярно-пористое коллоидное тело со сложным строением. Модифицирование древесины – это процесс направленного внесения изменений в её свойства. Одним из основных путей получения модифицированной древесины является пропитка. На сегодняшний день применяется ряд эффективных веществ, обеспечивающих защиту от разрушающих воздействий грибков и микроорганизмов, а также огнезащиту, понижающих водопоглощение, обеспечивающих стабильные физико-механические характеристики получаемых изделий.

В переменном электрическом поле древесина проявляет диэлектрические свойства, которые характеризуются двумя основными показателями: относительной диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь.

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ показывает, во сколько раз сила взаимодействия между электрическими зарядами в данной среде (древесине) меньше, чем в вакууме. Она численно равна отношению емкости конденсатора с прокладкой из древесины к ёмкости конденсатора с воздушным зазором между электродами.

Тангенс угла диэлектрических потерь древесины определяет долю подведенной мощности, которая поглощается материалом и превращается в тепло. Тангенс угла диэлектрических потерь численно равен отношению активного и реактивного токов в материале.

Древесина обладает высокими диэлектрическими свойствами и используется при производстве элементов электрической изоляции. Модифицирование древесины позволяет улучшить эксплуатационные свойства и применяется при производстве электротехнических изделий – в опорах линий электропередач и траверсах, в пазовых клиньях электрических машин, опорных элементах обмоток. Таким образом, влияние модифицирования на электрофизические и механические свойства материала представляет интерес.

В данной работе будет исследовано влияние импрегнирования древесины берёзы и сосны водными растворами веществ, входящих в состав антисептиков и антипиренов, а также влияние пропитки древесины парафином на её диэлектрическую проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, электрическую прочность, предел механической прочности.

1 Древесина. Модифицирование. Обзор свойств и методов

Древесина применяется при изготовлении опор ЛЭП, крепёжных конструкций электротехнического оборудования, концевой изоляции обмоток трансформаторов, пазовых клиньев электрических машин. Для производства опор древесина имеет ряд преимуществ. Деревянные опоры легче стальных или железобетонных опор, что снижает затраты на транспортировку и установку. Также благодаря меньшей массе повреждённая деревянная опора с большой вероятностью сможет удержаться на проводах, не обрушая остальные опоры. Главным преимуществом являются высокие диэлектрические свойства.

За рубежом, например в США и Канаде, на ВЛ напряжением до 35 кВ деревянные опоры пользуются большим спросом и остаются вне конкуренции. Деревянные опоры, пропитанные водными растворами антисептиков и антипиренов, являются практически идеальными для использования с точки зрения зарубежных коллег. Опыт Канады, США, Франции, Германии, и стран Скандинавии показывает, что правильно изготовленные, обработанные и пропитанные опоры способны служить более 50 лет [1]. Стоит отметить, что в данных странах разработаны и применяются стандарты производства деревянных опор, регламентирующие процессы заготовки, обработки и модифицирования пиломатериалов для изготовления опор.

1.1 Строение древесины

Древесина представляет собой капиллярно-пористое коллоидное тело. Она представляет собой материал биологического происхождения, который состоит из клеток. Древесина имеет волокнистую структуру, образуемую вытянутыми клетками волокон, ориентированными главным образом вдоль ствола [2]. Лигнин, целлюлоза и гемицеллюлозы являются основными органическими веществами, входящими в состав клеток древесины [3].

Лигнин – это ароматический полимер, участвующий в процессе одревеснения клеток. Целлюлоза представляет собой полимер с длинной цепной структурой молекулы. Макромолекулы целлюлозы, образующие пучки,

называются фибриллами. Фибриллы ориентированы главным образом в направлении продольной оси клетки образуют каркас клеточной стенки.

Рост древесины обусловлен делением клеток камбия, который представляет собой слой активных живых клеток. Камбий лежит между лубом – слоем внутренней поверхности коры и внешним слоем собственно древесины [3]. При делении камбиальной клетки происходит образование перегородки, разделяющей ядро и протоплазму. При этом одна из образовавшихся клеток становится клеткой древесины, а другая остаётся камбиальной и сохраняет активность. Процесс одревеснения клетки сопровождается лигнификацией и отмиранием клетки.

В процессе роста древесины в радиальном направлении клетки образуют годичные слои или так называемые годичные кольца. Каждое годичное кольцо состоит из двух частей – весенней и более плотной и тёмной осенней древесины. Центральная часть ствола, содержащая значительную часть годичных слоёв, образует ядро. Слой древесины между ядром и камбием называется заболонью.

Все клетки, входящие в состав древесины, подразделяются на две большие группы – прозенхимные и паренхимные клетки.

Паренхимные клетки, как правило, имеют в разных направлениях приблизительно одинаковую длину, их размеры обычно не превышают 0,1 мм. Исключение составляют веретеновидные паренхимные клетки, которые характеризуются формой, удлинённой в одном из направлений. Паренхимные клетки обладают тонкими стенками. Эти клетки характеризуются значительной продолжительностью жизни, некоторые из них сохраняют протопласты и остаются живыми в течение десятков лет и отмирают только с переходом годичного слоя из заболони в спелую древесину или ядро [2].

У лиственных и хвойных пород паренхимные клетки находятся в сердцевинных лучах, образуя лучевую (радиальную) паренхиму. В хвойных породах они также могут окружать также клетки смоляных ходов.

Паренхимные клетки в сердцевинных лучах могут ориентированы различным образом: быть слегка вытянуты вдоль луча или вдоль ствола.

Паренхимные клетки растущего дерева выполняют главным образом запасающую функцию – в них откладываются питательные вещества. Однако, в них могут и синтезироваться определённые вещества, например, живица [2]. Паренхимные клетки сообщаются с прочими окружающими клетками посредством пор.

Прозенхимные клетки сильно вытянуты в одном направлении и образуют волокна.

Прозенхимные клетки хвойных пород представлены исключительно трахеидами, которые составляют основной объём древесины, при этом трахеиды хвойной породы как правило вытянуты сильнее, чем у лиственных [2].

Лиственные породы помимо трахеид содержат сосуды и волокна либриформа. Сосуды представляют собой цепочки длиной до нескольких метров, которые состоят из отдельных клеток-члеников и образуют в древесине разветвлённые каналы. Основное назначение этих каналов – обеспечение проведения жидкости с растворёнными веществами от корней вверх по стволу к кроне. Диаметр сосудов может варьироваться и составлять от десятков микрометров до десятых долей миллиметра.

В сосудах могут образовываться тиллы – выросты паренхимных клеток, которые врастают через поры в его стенках и закупоривают сосуд, препятствуя проведению жидкости. Тиллы в большом количестве содержатся в «ложном ядре» лиственных пород и в срубленном дереве сильно затрудняют пропитку древесины.

Волокна либриформа представляют собой очень вытянутые клетки. Они имеют более толстые стенки и узкие полости внутри. Выполняют механические функции.

В некоторых хвойных породах эпителиальные клетки тонкостенные клетки образуют трубки – смоляные ходы. Снаружи трубка эпителиальных клеток окружена паренхимными клетками, которые отделяют смоляной ход от трахеид. Эпителиальные клетки выделяют смолу в межклеточное пространство,

по которому она поступает к повреждённым местам и защищая дерево от развития разрушающих грибов и от высыхания.

1.2 Методы модифицирования древесины

Существует множество методов внесения модифицирующего агента в структуру древесины, которые существенно различаются распределением по объёму и, как следствие, качеством и эффективностью защиты древесины.

Способы пропитки можно условно разделить на пропитку без давления и пропитку под давлением.

Нанесение состава кистью или посредством распыления – наиболее простой и дешёвый метод. Небольшая часть жидкости втягивается в капилляры древесины под действием капиллярных сил. Глубина проникновения и стойкость при этом крайне ограничены.

Кратковременное окунаение древесины в раствор обеспечивает качество пропитки, сравнимое с обычным нанесением состава, однако может применяться для минимизации трудозатрат при работе с большими партиями древесины.

Погружение древесины на более продолжительный срок (несколько суток) может обеспечить более глубокое проникновение состава. При погружении сосны на 1-2 суток в консервант заболонь может быть достаточно хорошо пропитана: проникновение раствора может составить до 96 кг/м³ [4]. Данный метод мало распространён ввиду невысокой эффективности и производительности.

Существует метод пропитки, при котором древесина погружается в резервуар с горячим раствором, а затем в резервуар с холодным раствором. При помещении в горячий раствор клеточные полости расширяются, при последующем помещении древесины в холодный раствор воздух в этих полостях сжимается, вызывая падение давления в них, благодаря чему раствор проникает вглубь [4]. При пропитке древесины растворами, которые нельзя нагревать до высоких температур, древесина может быть предварительно прогрета паром.

Для повышения эффективности пропитки может быть применён вакуум для удаления воздуха из клеточных полостей, пор, сосудов. После того, как древесина выдержана в вакууме, в камеру подаётся пропиточный состав, который под действием разности давлений проникает вглубь древесины. Наиболее эффективным методом является автоклавная пропитка, которая предусматривает комбинацию вакуума и подачу раствора под избыточным давлением. Режим пропитки, который определяется в первую очередь давлением и продолжительностью может оказывать влияние на глубину проникновения и эффективность защиты.

Эффективность автоклавной пропитки может быть повышена благодаря ультразвуковому воздействию. На сегодняшний день разработаны методы и установки для сквозной пропитки с применением высокого давления и ультразвукового воздействия на материал и пропитывающую жидкость. Такие методы позволяют произвести сквозную пропитку бревна через торец [5].

Эффективность пропитки зависит от подготовки древесины. Пропитке древесины должна предшествовать сушка. При пропитке водорастворимыми составами влажность древесины не должна превышать 30%. При любом способе пропитки необходима окорка, поскольку луб и кора малопроницаемы для жидкости. В отдельных случаях при модифицировании труднопропитываемой древесины может применяться накалывание – создание отверстий заданной глубины, позволяющих улучшить проникновение жидкости. При этом древесные клетки частично перерезаются и раздвигаются.

1.3 Электрофизические свойства древесины

Древесина обладает специфическими свойствами, которые проявляются при взаимодействии с переменным электромагнитным полем. Эти свойства в значительной степени определяются её строением и составом. Воздействие магнитной составляющей электромагнитного поля на древесину пренебрежимо мало и в практических целях не рассматривается. Электрическая

составляющая – это электрическое поле, сильно взаимодействующее с древесиной и вызывающее в ней появление токов [6].

Сухая древесина обладает удельным сопротивлением порядка 10-1000 ТОм/м. По мере увлажнения удельное сопротивление ρ снижается и проводимость древесины может приближаться к величинам, сравнимым с проводимостью полупроводников. При воздействии переменного электромагнитного поля электрофизические свойства древесины определяются поляризационными процессами, которые вызваны взаимодействием молекул с внешним электромагнитным полем. Это позволяет рассматривать древесину как полярный диэлектрик [6].

При воздействии внешнего электрического поля происходит упорядочение расположения зарядов в молекулах веществ, входящих в состав древесины, что сопровождается изменением ориентации в пространстве заряженных частиц древесины. Процесс поляризации сопровождается приобретением заряженными частицами электрического момента. Поляризованность (интенсивность поляризации) P — численная характеристика поляризации во внешнем электрическом поле.

Суммарная поляризованность древесины численно выражается суммой всех видов поляризованности, имеющих место при взаимодействии древесины с полем:

$$P = P_{\text{э}} + P_{\text{и}} + P_{\text{д}} + P_{\text{м}} + P_{\text{эл}}, \quad (1.1)$$

где $P_{\text{э}}$ – электронная поляризация;

$P_{\text{и}}$ – ионная поляризация;

$P_{\text{д}}$ – дипольно-релаксационная поляризация;

$P_{\text{м}}$ – миграционная поляризация;

$P_{\text{эл}}$ – электролитическая поляризация.

Электронная поляризация обусловлена смещением электронных орбит относительно ядра. Она устанавливается в очень короткий промежуток времени (порядка фемтосекунд) и практически не зависит от частоты поля и температуры.

Ионная поляризация обусловлена упругим смещением разноимённо заряженных ионов относительно друг друга. Устанавливается в промежуток порядка пикосекунд. Поляризованность при повышении температуры возрастает ввиду того, что при тепловом расширении ионы удаляются друг от друга и взаимодействие между ними ослабевает.

Дипольно-релаксационная поляризация заключается в ориентировании молекул-диполей по направлению внешнего электрического поля. На дипольную поляризацию существенное влияние оказывает температура.

Миграционная поляризация связана с гетерогенностью древесины (древесина состоит из веществ с различными свойствами, находящихся в твёрдой, жидкой и газообразной фазах). Вследствие контактной разности потенциалов между водой и веществом древесины молекулы воды приобретают заряд одного знака, а молекулы древесины – заряд другого знака.

Электролитическая поляризация связана с явлением электролиза, которое сопровождается перемещением диссоциированных ионов. С момента начала воздействия электрического поля наблюдается нарастание электролитической поляризации. Она происходит существенно медленнее прочих видов поляризации [6].

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ показывает, во сколько раз сила взаимодействия между электрическими зарядами в данной среде (древесине) меньше, чем в вакууме. Она численно равна отношению ёмкости конденсатора с прокладкой из древесины к ёмкости конденсатора с воздушным зазором между электродами.

Тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) древесины определяет долю подведенной мощности, которая поглощается материалом и превращается в тепло. Тангенс угла диэлектрических потерь численно равен отношению активного и реактивного токов в материале.

Модифицирование древесины влияет на диэлектрические параметры. Например, пропитка древесины низкомолекулярным полиэтиленом увеличивает

диэлектрическую проницаемость древесины. При этом слои древесины и полиэтилена, чередуясь, образует множество «конденсаторов», соединённых последовательно и параллельно [6].

При изучении диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь исследователи работают в широком диапазоне частот, что зависит от целей исследований. В частности, задачи исследования диэлектрических характеристик древесины представляют интерес для разработки и совершенствования методов неразрушающего контроля посредством зондирования (ультразвуковое исследование, инфракрасная спектроскопия, микроволновые излучения, применяемые для определения спектров комплексной диэлектрической проницаемости) [7], [8]. В частности, экспериментально получаемые зависимости диэлектрических свойств древесины от влажности в высокочастотных диапазонах могут применяться для определения свойств «живой» древесины произрастающих лесных массивов методами дистанционного зондирования [9].

Особый интерес представляет влияние, в частности, огнезащитной обработки на диэлектрические параметры, что отражено в работах группы белорусских учёных [10], [11], которыми разработан способ контроля качества огнезащиты, основывающийся на измерении электрофизических характеристик. Влияние изменённых химических свойств на диэлектрические характеристики создаёт перспективу применения результатов исследований электрофизических свойств модифицированной древесины для оценки качества пропитки.

2 Объект и методы исследования

2.1 Древесина берёзы и сосны

Древесина берёзы относится к рассеяннососудистым заболонным породам (сосуды распределены по всей ширине годичного слоя, в отличие от кольцесосудистых лиственных пород). Древесина очень светлая, оттенок от розоватого до желтоватого, однородная, годичные слои практически не просматриваются. Узкие сердцевинные лучи хорошо видны на радиальном разрезе в виде точек. Может присутствовать ложное ядро более тёмного буроватого цвета.

Древесина берёзы достаточно плотная и прочная, умеренно твёрдая. Хорошо поддаётся обработке. Подвержена гниению. Древесина применяется достаточно широко. Из берёзы производится лущёный шпон и фанера, древесноволокнистые и древесностружечные плиты. Применяется в мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности.

Наряду с другими твёрдыми лиственными породами (дуб, бук, граб, клён) применяется для изготовления изоляционных деталей: опорные и крепёжные детали трансформаторов, пазовые клинья электрических машин, изолирующие штанги. Поскольку древесина в исходном состоянии имеет нестабильные изоляционные и механические свойства, она подлежит пропитке парафином, маслами или смолами. Для устранения гигроскопичности детали покрываются специальным лаком и запекаются.

Сосна – ядровая хвойная порода со светлой желтоватой заболонью. Годичные слои отчётливо видны на любом разрезе. Древесина умеренно прочная и мягкая, смолистая, стойкая к гниению. Широко используется в мебельной промышленности и строительстве, для производства шпал.

При производстве деревянных опор линий электропередач сосна является основным материалом. Смолистая сердцевина обладает естественной стойкостью к гниению, заболонь пропитывается огнебиозащитными составами.

2.2 Применяемые пропиточные составы

Карбамид (мочевина) – диамид угольной кислоты. Представляет собой растворимые в воде белые кристаллы. Оказывает на древесину пластифицирующее и антисептическое действие. Находит применение в водных защитных растворах для древесины, в частности – входит в состав препарата ДМФ [12].

Сульфат аммония представляет собой прозрачные растворимые в воде кристаллы. Химическая формула $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Входит в основу составов для огнезащитной обработки.

Жидкое стекло – раствор силиката натрия. Может использоваться в качестве водоотталкивающего агента, однако при продолжительном непосредственном контакте обработанной древесины с водой плёнка жидкого стекла растворяется. На основе силиката натрия изготавливаются огнезащитные композиции [13], действие которых основано на образовании вспучивающихся слоёв с низкой теплопроводностью.

Поливиниловый спирт (ПВС) – искусственный водорастворимый синтетический термопластичный полимер $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$. Основным сырьём для получения является поливинилацетат, из которого ПВС синтезируется реакцией гидролиза. Может быть применён в качестве фиксатива для снижения вымываемости антисептических препаратов на основе бора [14]. Глубокая пропитка раствором поливинилового спирта повышает стойкость древесины к горению и ввиду экологичности данного метода может применяться для защиты древесины, эксплуатируемой в защитных помещениях [15].

Парафин – воскоподобное вещество, смесь предельных углеводородов. Используется для пропитки деревянных электроизоляционных элементов. Такая пропитка может повысить электрическую прочность в 1,5-2 раза [16]. Кроме того пропитка деревянного изделия парафином увеличивает влагостойкость древесины и стабилизирует механические свойства древесины, препятствуя изменению формы и размера под действием перепадов влажности и температуры.

2.3 Метод пропитки

Для обработки заготовок образцов водными растворами для испытаний применён метод пропитки древесины под давлением. В герметичной камере с помещённым в неё материалом создаётся вакуум, после чего пропиточный раствор подаётся в камеру и создаётся избыточное давление. Пропитка осуществляется в импульсном режиме, сущность которого заключается в создании импульсов давления с заданной скважностью [17]. Эффективность и качество пропитки при этом определяются скоростью снижения давления в камере.

Режим пропитки, применённый в исследовании характеризуется следующими параметрами (рисунок 2.1). После помещения материала в камеру в ней создаётся разрежение до 1,5 кПа. Древесина выдерживается в вакууме 5-10 минут для освобождения пор, сосудов, клеточных полостей от воздуха. Затем подаётся раствор, и при помощи жидкостного насоса высокого давления создаётся избыточное давление жидкости 1,1 МПа. По достижении заданного давления насос отключается. По мере впитывания жидкости в древесину давление в камере падает и по достижении давления 0,6 МПа насос включается снова. Скважность циклов включения-отключения насоса в процессе пропитки возрастает, поскольку по мере того, как древесина насыщается жидкостью, скорость впитывания падает. Пропитка прекращается, когда скважность составит 40-45 минут. В таком режиме процесс пропитки занимает до четырёх часов.

В состав установки для пропитки входят следующие основные элементы:

- пропиточная камера;
- пульт управления;
- вакуумный насос;
- датчики давления;
- насос высокого давления
- система нагрева;

– термопарные датчики температуры.

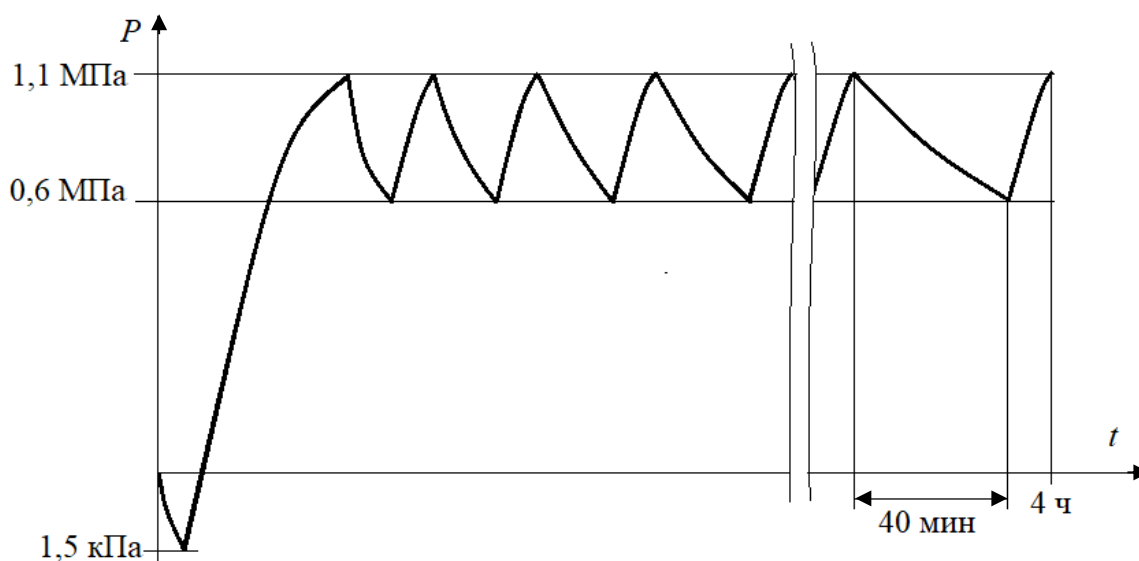


Рисунок 2.1 – Режим пропитки древесины

В таблице 2.1 [18] приведены основные технические характеристики установки.

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 2.2.

Таблица 2.1 – Технические характеристики установки

Электропитание	Однофазное, 220 В
Энергопотребление, Вт	до 1000
Давление, кПа	От 10 до 600
Габаритные размеры, мм ³	500х700х1100
Вес, кг	20

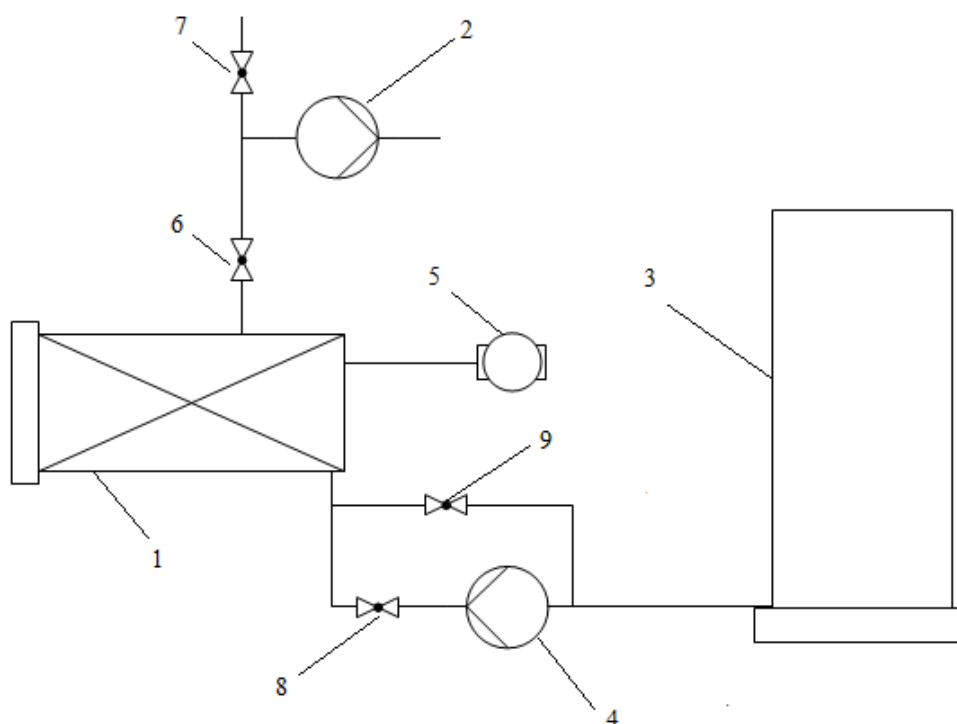


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема установки объемной пропитки древесины

1 – рабочая камера; 2 – вакуумный насос; 3 – бак для раствора; 4 – жидкостный насос высокого давления; 5 – датчик давления; 6-9 – вентили

Установка для пропитки (рис. 3) состоит из рабочей камеры 1, куда помещается модифицируемый образец, вакуумного насоса 2, бака для пропиточного раствора 3, жидкостного насоса высокого давления 4, Датчика давления 5, вентилей 6-9.

Последовательность действий при пропитке древесины водными растворами.

1. Наполнить бак 3 пропиточным составом.
2. Поместить пропитываемые образцы в камеру 1 и герметично закрыть камеру.
3. Закрыть все вентили.
4. Включить щит управления.

5. Открыть вентиль 6 и включить вакуумный насос. По достижении разрежения (давление контролируется датчиком) выключить насос и закрыть вентиль.
6. Открыть вентиль 9. Под действием разности давлений состав будет подаваться в камеру. Открывая вентиль 6, достичь полного заполнения камеры. Закрыть вентили 6 и 9.
7. Открыть вентиль 8. Включить жидкостный насос. Насос управляется контроллером в автоматическом режиме, подавая жидкость импульсами с заданной скважностью и создавая в камере избыточное давление.
8. Когда пропитка будет окончена, выключить насос, закрыть вентиль 8.
9. Открыть вентили 9,7 и 6. Дождаться перетекания раствора из камеры в бак.
10. Открыть камеру и извлечь пропитанные образцы.

Пропитка парафином осуществляется без избыточного давления.

Последовательность действий при пропитке древесины расплавом парафина.

1. Поместить в камеру ёмкость с парафином и древесиной.
2. Включить нагрев. Дождаться расплавления парафина. Древесина при этом прогревается, что обеспечивает расширение капилляров и позволяет провести пропитку древесины под атмосферным давлением. Температура поддерживается контроллером в автоматическом режиме.
3. Поместить в ёмкость груз, чтобы пропитываемые образцы были полностью скрыты жидким парафином.
4. Герметично закрыть камеру и создать разрежение. Выдержать древесину в вакууме около часа, чтобы удалить оставшийся в древесине воздух.

5. Напустить в камеру воздух и открыть камеру. Выдерживать древесину в парафине около часа.
6. Выключить нагрев и извлечь ёмкость.

2.4 Методика исследований

2.4.1 Подготовка образцов

Испытываются образцы из сосны и берёзы, пропитанные парафином, водными растворами карбамида (мочевины), сульфата аммония, жидкого стекла, поливинилового спирта, а также образцы исходной древесины, не подвергнутой обработке.

Определяются диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь вдоль волокон и поперёк волокон в радиальном направлении, электрическая прочность в радиальном направлении, предел механической прочности при статическом изгибе поперёк волокон и при сжатии вдоль волокон, водопоглощение.

Концентрация водных растворов карбамида, сульфата аммония и жидкого стекла составляет 80 г/л. Концентрация раствора ПВС – 5 г/л.

Концентрация жидкого стекла определяется по сухому остатку. Для определения необходимого количества жидкого стекла определена масса сухого остатка в известной массе жидкого стекла.

Небольшое количество (28 г) жидкого стекла было помещено в сушильную камеру. После испарения влаги масса сухого остатка составила 12 г. Масса жидкого стекла, необходимая для получения 1 л раствора концентрацией 80 г/л, определена следующим образом:

$$m = \frac{28 \cdot 80}{12} = 186,7 \text{ г} \quad (2.1)$$

Количество и характеристики образцов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики и количество образцов

Наименование состава	Вид испытания				
	ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ вдоль/ поперёк волокон	Электри- ческая прочность вдоль/по- перёк волокон	Предел прочности (изгиб)	Предел прочности (сжатие)	Водопогло- щение
	Сечение: 40x40 мм; толщина: 3 мм	Сечение: 40x40 мм; толщина: 3 мм	Сечение: 20x20 мм длина вдоль волокон: 300 мм	Сечение: 20x20 мм высота вдоль волокон: 30 мм	Сечение: 20x20 мм высота вдоль волокон: 15 мм
Берёза исходная	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Берёза/карбамид	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Берёза/сульфат аммония	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Берёза/жидкое стекло	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Берёза/ПВС	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Берёза/парафин	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Сосна исходная	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Сосна/карбамид	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Сосна/сульфат аммония	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Сосна/жидкое стекло	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Сосна/ПВС	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.
Сосна/парафин	8/8 шт.	8/8 шт.	8 шт.	8 шт.	4 шт.

2.4.2 Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь

Измерение диэлектрической проницаемости в переменных полях, а также измерение тангенса угла диэлектрических потерь представляет больший интерес, чем измерение диэлектрической проницаемости при постоянном токе, поскольку позволяют получить больше информации о структуре и свойствах диэлектрика [19].

Диэлектрические параметры измеряются в направлении вдоль волокон и поперёк волокон в радиальном направлении. Образцы для измерений (рисунок 2.3) представляют собой квадратные пластинки 40х40 мм толщиной 3-4 мм. Для определения диэлектрической проницаемости измеряется ёмкость образцов. В качестве конденсаторных обкладок применён алюминиевый скотч. Одна сторона пластинки обклеивается полностью, на вторую сторону наклеивается круглая обкладка диаметром 37 мм.

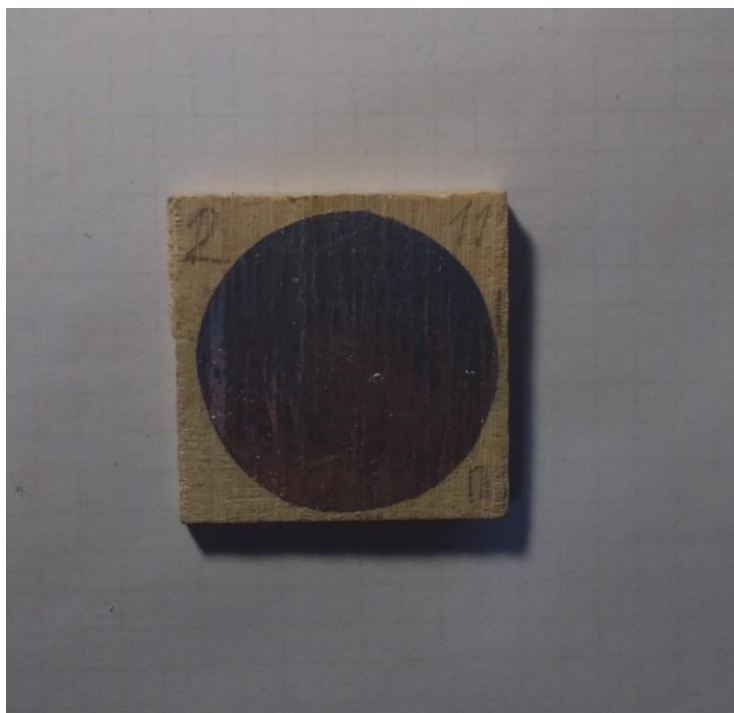


Рисунок 2.3 – Внешний вид подготовленного образца

Для измерения применён измеритель иммитанса Е7-20. Данный прибор предназначен для измерения параметров объектов при синусоидальном напряжении [20]. Прибор позволяет измерять ёмкость и тангенс угла диэлектрических потерь. Внешний вид прибора приведён на рисунке 2.4.

Измерения проводятся при приложении испытательного напряжения величиной 1 В в диапазоне частот от 25 Гц до 1 МГц. Подключение образца к прибору обеспечивается при помощи прилагаемого в комплекте присоединительного устройства УП-1. Сам образец зажимается контактами, помещёнными в диэлектрическую рамку из оргстекла. Выводы контактов

подключаются проводами к зажимам УП-1. Подключение образца для измерения показано на рисунке 2.5.



Рисунок 2.4 – Внешний вид измерителя E7-20

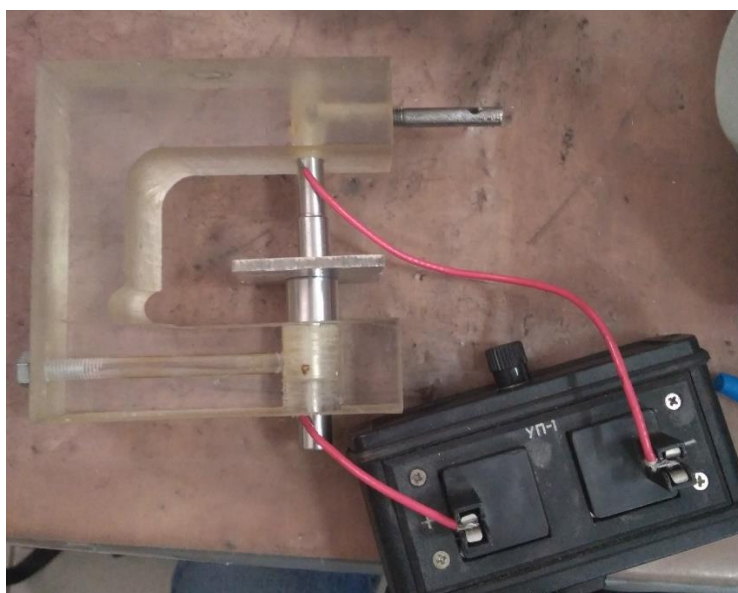


Рисунок 2.5 – Подключение зажима с образцом через соединительное устройство УП-1

2.4.3 Измерение электрической прочности

Электрическая прочность – это важная характеристика диэлектрика. Она численно равна минимальной напряжённости поля, при которой происходит электрический пробой.

Для измерения электрической прочности при переменном напряжении необходим источник высокого переменного напряжения с возможностью плавного его увеличения. Измерения проводятся при пробое вдоль волокон и поперёк волокон в радиальном направлении.

Образцы для испытания представляют собой пластинки сечением 50х50 мм и толщиной 3 мм.

В качестве источника высокого напряжения применён аппарат АИМ-90, предназначенный для испытания трансформаторного масла и обеспечивающий подачу синусоидального напряжения величиной до 90 кВ. Аппарат выполнен в закрытом корпусе и предназначен для использования в лабораторных условиях. Аппарат оснащён встроенным измерительным прибором. При пробое испытуемого диэлектрика подача высокого напряжения автоматически прекращается, стрелка прибора при этом показывает значение пробивного напряжения. Внешний вид аппарата показан на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Аппарат испытания масла АИМ-90

Для испытания твёрдого диэлектрика электродная система аппарата, представляющая собой два полусферических электрода, помещённые в ёмкость для масла, заменена на цилиндрические электроды (рисунок 2.7). Диаметр электродов – 10 мм и 16 мм. Электроды помещены в рамку из оргстекла и фиксируются в ней винтами, обеспечивая возможность зажатия образца. Для исключения пробоя между фиксирующими винтами и корпусом установлен барьер из оргстекла. Внешний вид, расположение и подключение электродов в корпусе АИМ-90 показаны на рисунке 2.8.

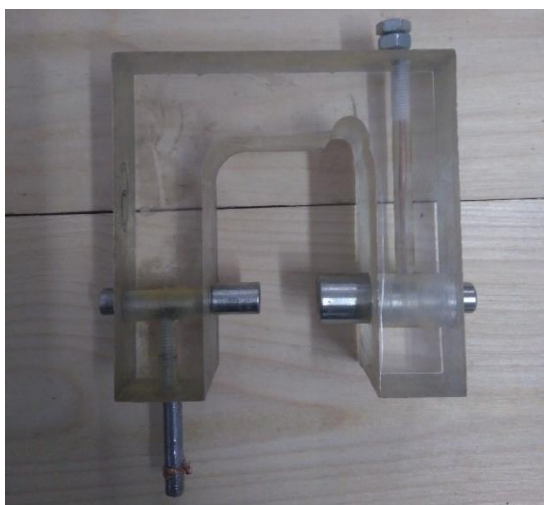


Рисунок 2.7 – Электроды для испытания

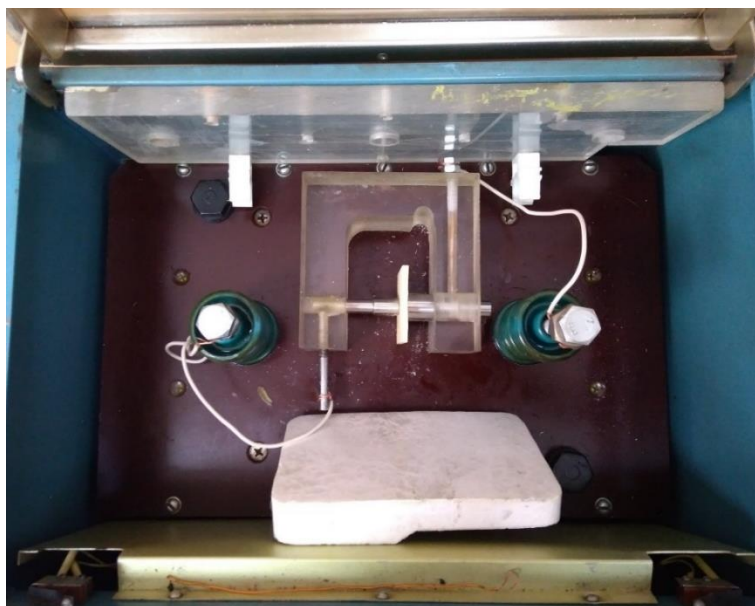


Рисунок 2.8 – АИМ-90 с заменённой электродной системой для испытания твёрдых диэлектриков

2.4.4 Измерение предела механической прочности при статическом изгибе и при сжатии вдоль волокон

Определение предела прочности при статическом изгибе проводится по методике, предписанной ГОСТ 16483.3-84 [21]. Образцы для испытания представляют собой бруски радиального распила сечением 20х20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Бруски не имеют сучков, косослоя и прочих дефектов.

Для проведения испытания используется испытательная машина, обеспечивающая нагружение образца и позволяющая измерять нагрузку. Образец устанавливается на опоры, центры которых находятся на расстоянии 240 мм друг от друга. Проекция нагружающей головки должна располагаться в середине расстояния между опорами. Образец помещается в машину так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям (в тангенциальном направлении). Схематичное изображение взаимного расположения образца, опор и нагружающей головки приведено на рисунке 2.9.

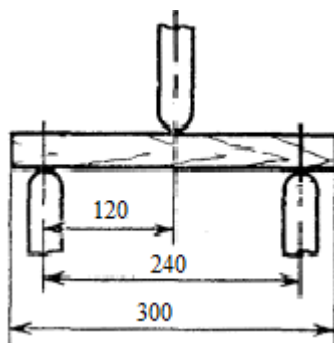


Рисунок 2.9 – Схема эксперимента

Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон проводится по методике ГОСТ 16483.10-73 [22]. Образцы представляют собой короткие бруски сечением 20х20 мм и длиной 30 мм. Испытательная машина нагружает образец равномерно до разрушения.

2.4.5 Измерение водопоглощения

Водопоглощение – свойство древесины, характеристика увеличения влажности при непосредственном контакте древесины с водой.

Методика измерений основана на ГОСТ 16483.20-72 [23]. Образцы сечением 20х20 мм и высотой 15 мм высушиваются, после чего измеряется их

масса. Затем образцы помещаются в плотно закрываемую ёмкость и заливаются водой так, что один из поперечных разрезов остаётся сухим. Ёмкость с образцами закрывается. Затем масса образцов измеряется через два часа, через 1, 2, 3, 6, 9, 15, 20 суток после первоначального взвешивания. Испытание заканчивают, когда разность между двумя последними измерениями массы составит не более 0,05 г. Количество поглощённой влаги вычисляется в процентах от массы сухого образца.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студент

Группа	ФИО
4ТМ71	Тепляков Артём Викторович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых, информационных и человеческих	В исследования используется материально-техническая база НПЛ ИПЭПТ, задействованы 2 человека: научный руководитель и инженер
2. Использование систем налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды составляют 30 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала исследования	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование работ и расчёт бюджета исследования	Планирование научно-исследовательских работ, определение длительности работ. Расчёт бюджета исследования.
3. Определение ресурсоэффективности и научного потенциала	Определение: - Научно-технического уровня - Интегрального показателя ресурсоэффективности
Перечень графического материала:	
1. Оценка конкурентоспособности инженерного решения 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет исследования 4. Оценка ресурсной эффективности исследования	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кащук Ирина Вадимовна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ71	Тепляков Артём Викторович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой выпускной квалификационной работы является исследование электрофизических характеристик модифицированной древесины.

Древесина широко применяется при изготовлении электротехнических изделий (опор ЛЭП, крепёжных конструкций электротехнического оборудования, концевой изоляции обмоток трансформаторов, пазовых клиньев электрических машин). Для придания ей необходимых физико-механических и биохимических свойств проводится её модифицирование. Модифицирование неизбежно влияет на электрофизические параметры материала. В силу применения модифицированной древесины при производстве электротехнических конструкций, важно исследовать, как её электрофизические параметры зависят от вносимого пропиточного состава.

Для производства опор древесина имеет ряд преимуществ. Деревянные опоры легче стальных или железобетонных опор, что снижает затраты на транспортировку и установку. Также благодаря меньшей массе повреждённая деревянная опора с большой вероятностью сможет удержаться на проводах, не обрушая остальные опоры. Главным преимуществом являются высокие диэлектрические свойства.

В задачи данного раздела входит организация и планирование работ по проведению научного исследования, формирование бюджета, оценка перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Проведём анализ конкурентоспособности с точки зрения применимости модифицированной древесины при производстве опор линий электропередач. Конкурентными решениями являются металлические и железобетонные опоры.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{К1}	Б _{К2}	К _Ф	К _{К1}	К _{К2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Безопасность	0,2	4	4	2	0,8	0,8	0,4
Простота изготовления	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Удобство эксплуатации	0,1	5	5	2	0,5	0,5	0,2
Использование в различных климатических условиях	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Диэлектрические свойства	0,1	5	1	2	0,5	0,1	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Цена	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
Срок эксплуатации	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Итого	1	37	31	28	4,0	3,8	3,5

4.2 SWOT-анализ

Одной из целей данного раздела является комплексный анализ внутренней и внешней среды для определения сильных и слабых сторон проекта и выявления возможностей и угроз. Для этого будет проведён SWOT-анализ. Значимость SWOT-анализа заключается в наглядности представляемых факторов внутренней и внешней среды предприятия. Потенциал сильных сторон проекта и представляющихся возможностей должен быть реализован в полной мере, в то время как слабые стороны, по возможности,

следует свести к минимуму. Важно выбрать такой вектор развития, при котором угрозы внешней среды будут минимизированы и окажут наименьшее влияние.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны С1. Аналогов исследования нет С2. Исследование является комплексным, направленным на различные сферы применения С3. Опытный научный руководитель С4. Доступность всех необходимых материалов и оборудования С5. Простота применяемого оборудования	Слабые стороны Сл1. Подготовка и проведение исследования требует значительного времени Сл2. Высокие требования к точности подготовки образцов и проведения испытаний Сл3. Отсутствие у студента, выполняющего работу, опыта эксплуатации оборудования
Возможности В1. Возможность использования полученных данных в дальнейших исследованиях свойств материала В2. Возможность применения полученных данных для разработки методов контроля качества пропитки древесины В3. Возможность использования результатов для выхода на рынок	Уникальность и комплексная направленность исследования даёт возможность более глубокого изучения свойств материала и процесса его модифицирования. Доступность материалов позволяет использовать полученные данные для выхода на рынок.	Для получения приемлемых результатов, позволяющих сделать выводы о влиянии модифицирования на свойства материала, необходимо соблюдать требуемую точность при подготовке образцов и их испытаниях
Угрозы У1. Возможное несоответствие качества подготовленного сырья требованиям методик проведения исследований У2. Возможная недостаточность финансирования У3. Возможные неисправности оборудования	Ввиду того, что все необходимые материалы и пропиточные составы доступны в лаборатории, нет никаких трудностей в подготовке образцов, соответствующих требованиям методик испытаний, даже в условиях недостаточного финансирования. Возможные неисправности оборудования могут быть легко устранены благодаря опыту научного руководителя и простоте и ремонтпригодности самого оборудования	Ввиду того, что подготовка к исследованиям требует значительных временных затрат и соблюдения точности, необходимо сразу позаботиться о качестве подготовленных материалов. Отсутствие у студента опыта эксплуатации вакуумного оборудования может создать проблемы при возможных неисправностях, однако это нивелируется простотой оборудования в эксплуатации и ремонте.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	0	-	-
	B2	+	+	0	0	-
	B3	+	+	0	+	-

При анализе таблицы выявлены следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: B1B2C1C2, B3C1C2, B3C4.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	+	-
	B2	-	+	-
	B3	-	-	-

При анализе таблицы выявлены следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: B3Сл1Сл2.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	0	+	0
	У2	-	-	0	+	0
	У3	-	-	+	-	+

При анализе таблицы выявлены следующие коррелирующие сильные стороны и угрозы: У1У2С4, У3С3С5.

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	-
	У2	+	0	-
	У3	0	0	+

При анализе таблицы выявлены следующие коррелирующие слабые стороны и угрозы: У1Сл1Сл2, У2Сл1, У3Сл3.

4.3 Планирование научно-исследовательской работы

Планирование работ необходимо для своевременного выполнения исследования. В команду, выполняющую работу, входят 2 человека: научный руководитель и проектировщик. Расчёт бюджета будет произведён, исходя из затрат на разработку.

Данные по продолжительности работ сведём в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Календарный план проекта

Номер работы	Название работы	Исполнитель	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Дата начала	Длительность, дни	Дата начала	Длительность, дни
1	Постановка целей и задач	НР	21.01.2019	3	-	-
2	Составление и утверждение технического задания	НР, И	24.01.2019	2	24.01.2019	2
3	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	28.01.2019	1	28.01.2019	6
4	Разработка календарного плана	НР, И	29.01.2019	2	29.01.2019	2
5	Закупка реагентов, изготовление пропиточных растворов, подготовка заготовок образцов	НР, И	4.02.2019	3	4.02.2019	4
6	Пропитка заготовок древесины составами, сушка	И	-	-	8.02.2019	20
7	Изготовление образцов	НР, И	1.03.2019	1	1.03.2019	10
8	Измерение диэлектрических характеристик и электрической прочности	И	-	-	13.03.2019	10
9	Измерение водопоглощения	И	-	-	25.03.2019	27
10	Испытания на предел механической прочности	И	-	-	25.04.2019	3
11	Описание результатов, оформление пояснительной записки	И	-	-	29.04.2019	20

Для удобства представления построим ленточный график проведения работ – диаграмму Ганта (таблица 4.8). График позволит наглядно оценить последовательность выполнения и временные рамки для каждой из основных частей.

Для построения графика длительность каждого из этапов будет представлена в календарных днях. Для перевода продолжительности из рабочих дней в календарные дни воспользуемся следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4.1)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;
 T_{ki} – продолжительность одной работы в календарных днях, дн.;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

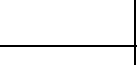
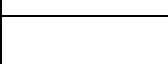
Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.2)$$

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (4.3)$$

Таблица 4.8 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнитель	T_{κ_i}	Продолжительность выполнения работ														
			январь			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Постановка целей и задач	НР	3,66															
Составление и утверждение технического задания	НР, И	2,44															
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7,32															
Разработка календарного плана	НР, И	2,44															
Закупка реагентов, изготовление пропиточных растворов, подготовка заготовок образцов	НР, И	4,88															
Пропитка заготовок древесины составами, сушка	И	24,4															
Изготовление образцов	НР, И	12,2															
Измерение диэлектрических характеристик и электрической прочности	И	12,2															
Измерение водопоглощения	И	32,94															
Испытания на определение предела механической прочности	И	3,66															
Описание результатов, оформление пояснительной записки	И	24,4															



- инженер



- научный руководитель

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

4.4.1 Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно – заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). Стоимость сырья, материалов, специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Сырье, материалы, комплектующие

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Сумма, руб
Поливиниловый спирт	кг	1	350	350
Карбамид	кг	3	100	300
Сульфат аммония	кг	3	70	210
Жидкое стекло	кг	7	60	420
Парафин	кг	5	150	750
Доска строительная	шт.	5	300	1500
Персональный компьютер	шт.	1	20000	20000
Печатная бумага	упак.	1	300	300
Всего за материалы				23830
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				715
Итого по статье C_M				24545

4.4.2 Основная заработная плата

В данную статью входит основная и дополнительная заработная плата, а также премии и доплаты научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ, уровня образования сотрудника, географического положения предприятия и действующей системы оплаты труда.

$$C_{зн} = З_{осн} + З_{доп} \quad (4.4)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Для начала необходимо рассчитать основную заработную плату:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (4.5)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемая работником, раб. дней.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} \quad (4.6)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени, раб. дней.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	124	124
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	14	14
- праздничные дни	3	3
Потери рабочего времени		
- отпуск	0	0
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	107	107

Месячный должностной оклад работника рассчитывается исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (4.7)$$

где $З_{\text{б}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный (0,3);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (0,2);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент (для Томска составляет 1,3).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{б}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	4984,7	18	89724,8
Инженер	11280	0,3	0,2	1,3	21996	2137,9	107	228755,3

4.4.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении работы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.8)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы

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

В таблице 4.12 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.12 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер
Основная	89724,8	228775,3
Дополнительная	10767	27453
Общая	100491,8	256228,3
Итого по статье $C_{\text{зн}}$	356720,1	

4.4.4 Отчисления на социальные нужды

Данная статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды, а именно отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.9)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Согласно пункту 1 ст. 58 федерального закона №212-ФЗ размер страховых взносов образовательных учреждений составляет 30%.

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 356720,1 = 107016 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

4.4.5 Накладные расходы

В данную статью входят затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.11)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов (70-90%).

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 270844,4 = 285376 \text{ руб} \quad (4.12)$$

4.4.6 Амортизация

Амортизация – это процесс переноса начальной стоимости основного средства на производственные или общехозяйственные расходы.

Расчет нормы амортизации производится по формуле

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%, \quad (4.13)$$

где n – срок полезного использования, год.

Расчет амортизации производится по формуле

$$A = \frac{K \cdot I}{365} \cdot t, \quad (4.14)$$

где I – общая стоимость, руб.,

t – срок использования, дн.

Таблица 4.13 – Расчет амортизации

Наименование	Стоимость, руб	Срок использо- вания n, лет	Норма амортиза- ции K, %	Время исполь- зования m, дн	Аморти- зация A, руб
ПК	20000	5	20	107	1172,6
Пропиточная камера	200000	25	4	20	438,4
Вакуумный насос	50000	7	14,29	20	391,5
Насос высокого давления	40000	7	14,29	20	313,2
Измеритель иммитанса	132000	10	10	10	361,6
Итого по статье					2677,3

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составим калькуляцию плановой себестоимости работы по исследованию электрофизических характеристик модифицированной древесины (таблица 4.14).

Таблица 4.14 – Калькуляция плановой себестоимости

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	24545
Основная заработная плата	318500,1
Дополнительная заработная плата	38220
Отчисления на социальные нужды	107016
Накладные расходы	285376
Амортизация	2677,3
Итого	776334,4

4.5 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования

Необходимо рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i \quad (4.15)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 4.15 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,2
Возможность и масштабы реализации	0,4

Таблица 4.16 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 4.17 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка алгоритма	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 4.18 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0,4; \Pi_1 = 5; k_2 = 0,2; \Pi_2 = 0,5; k_3 = 0,4; \Pi_3 = 10; k_4 = 0,4; \Pi_4 = 4 \quad (4.16)$$

$$НТУ = 0,4 \cdot 5 + 0,2 \cdot 8 + 0,2 \cdot 10 + 0,4 \cdot 4 = 7,2 \quad (4.17)$$

По полученному коэффициенту научно-технического уровня можно сделать вывод, что проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, что подтверждает целесообразность проводимого научного исследования.

4.6 Определение ресурсоэффективности исследования

Ресурсоэффективность исследования электрофизических характеристик модифицированной древесины определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.18)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 4.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой параметр коэффициента	Балл
1. Качество защитной пропитки	0,25	5
2. Рентабельность	0,2	4
3. Производительность	0,2	4
4. Экономичность	0,2	5
5. Экологичность	0,15	5
Итого	1	

$$I_{\text{ппр}} = 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,6 \quad (4.19)$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает хороший результат (4,6 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

В разделе были решены следующие задачи.

1 Проведён анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности, который подтвердил конкурентоспособность разработки .

2 Выполнен SWOT-анализ, который позволил выявить потенциал проведённого исследования и определить наиболее эффективные пути развития.

3 Разработан календарный план проекта и построен календарный план-график. Общая длительность всех работ составила 107 рабочих дней.

4 Рассчитан суммарный бюджет исследования, который составил 776334,4 руб, включив в себя материальные расходы, основную и дополнительную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

5 Определён научно-технический уровень, показавший высокую теоретическую и практическую значимость исследования. Проведена оценка ресурсоэффективности, которая составила 4,6 из 5, что демонстрирует хорошую реализацию проекта.