

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

Институт – Энергетический
Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра – Автоматизация теплоэнергетических процессов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Прогностическое моделирование надежности элемента энергетического оборудования УДК 62-620.191.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Таханова Арчынай Анатольевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кравченко Евгений Владимирович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Василевский Михаил Викторович	К. Т. Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, средств автоматизации и защиты	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники, автоматизированных систем управления технологическими процессами в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
P4	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P5	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, в том числе по осуществлению надзора при изготовлении,	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

	монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию установок, систем и оборудования	
P6	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС (ПК-9), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Универсальные компетенции		
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС (ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт – Энергетический
Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра – Автоматизации теплоэнергетических процессов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Стрижак П. А.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5Д	Тахановой Арчынай Анатольевне

Тема работы:

Прогностическое моделирование надежности элемента энергетического оборудования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	21.04.17 №2828/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Один из элементов энергетического оборудования – электрическое контактное соединение представляет собой место перехода тока из одной токоведущей детали в другую. На основе данных моделирования КС с использованием программного продукта ANSYS проводится прогностический расчет надежности КС. Для верификации результатов моделирования проводится ряд экспериментов при разных условиях: температура в камере меняется с 22 до 50 °С, влажность в камере меняется в диапазоне 50-80 %. Прогнозирование надежности электрического контакта осуществляется с помощью математических моделей.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1) Анализ современных методов и систем диагностики и прогнозирования элементов энергетического оборудования.2) Моделирование КС в программе ANSYS.3) Описание экспериментальной установки и условий проведения экспериментов.4) Проведение экспериментальных исследований.

	5) Анализ полученных результатов. 6) Прогнозирование надежности электрического контакта с помощью математических моделей. 7) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8) Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1) Структурная схема экспериментального стенда. 2) Схема функциональная АСР влажности. 3) Схема принципиальная электрическая АСР влажности. 4) Схема монтажная. 5) Основные результаты исследований.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работ

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна, к.э.н., доцент
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович, к.т.н., доцент
На иностранном языке	Федоринова Зоя Владимировна, к.п.н., доцент

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Реферат. Введение. Обзор литературы. Заключение

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кравченко Евгений Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Таханова Арчынай Анатольевна		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 134 страниц, 27 рисунков, 36 таблиц, 84 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: электрическое контактное соединение, надежность, моделирование, прогнозирование.

Объектом исследования является электрическое контактное соединение.

Цель работы – моделирование КС в программе ANSYS и верификация полученных результатов данными, полученными в ходе эксперимента, и прогностический расчет интенсивности отказа с помощью математических моделей по данным моделирования.

В процессе исследования проводились моделирование КС в программе Ansys и эксперимент с использованием тепловизора при создании разных условий среды в камере, в котором находился объект.

В результате исследования приведен анализ состояния КС при различных параметрах среды и проведен прогностический расчет показателя надежности КС.

Область применения КС – электрические системы энергетических объектов, общественных и жилых зданий.

Экономическая эффективность или значимость работы заключается в сокращении аварий на энергетических объектах для уменьшения материальных затрат на устранение последствий аварий.

В будущем планируется разработка автоматической системы измерения параметров окружающей среды, моделирование объекта и его прогностический расчет надежности.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

электрические контакты: Соприкасающиеся поверхности материалов, обладающие электропроводностью и соединяющие между собой несколько токоведущих элементов в электрической цепи; приспособление, которое обеспечивает соединение и переход электрического тока из одной контактирующей детали в другую.

моделирование: Метод изучения объектов при помощи создания и исследования их моделей.

прогнозирование надежности: Процесс разработки соответствующих расчетных моделей для каждого показателя надежности системы и оценивание входных параметров этой модели в виде параметров надежности компонентов этой системы для решения конечной задачи – оценки выходных параметров надежности системы.

надежность: Свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

интенсивность отказов: Показатель надежности неремонтируемых технических устройств; Численно равна вероятности отказа устройства в единицу времени начиная с некоторого момента времени при условии, что до этого отказа не было.

Обозначения и сокращения

КС – контактное соединение

ЭРИ – электрорадиоизделие

Нормативные ссылки

В работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р ИСО 26000-2012 Руководство по социальной ответственности.
2. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
7. ГОСТ 12.1. 038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
8. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Оглавление

Введение.....	10
1. Анализ методов диагностики электрических контактов	11
1.1 Влияние параметров окружающей среды на контактные соединения.....	12
1.2 Электрические эффекты в контактных соединениях и их свойства	14
1.3 Методы и средства обнаружения дефектов в электрических контактах ...	19
1.4 Моделирование электрофизических процессов в контактных соединениях	31
2. Методы математического моделирования контактных соединений	36
3. Методы прогнозирования надежности технических объектов	38
4. Описание экспериментальной установки	43
5. Разработка системы управления влажностью в экспериментальной установке.....	46
6. Моделирование контактного соединения в программе ANSYS	50
7. Анализ результатов моделирования и эксперимента.....	57
8. Прогностический расчет надежности контактного соединения	64
9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	72
9.1 Предпроектный анализ	72
9.2 Возможность коммерциализации.....	76
9.3 Инициация проекта	77
10. Социальная ответственность	90
10.1 Техногенная безопасность	91
10.2 Экологическая безопасность.....	101
10.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	101
10.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений....	102
Заключение	104
Список использованных источников	106
Приложение А Predictive modeling of the energy equipment elements reliability	112
Приложение Б Заказная спецификация приборов	134
Графическая часть:	На отдельных листах
ФЮРА 421000.010 С2 Схема функциональная АСР влажности в экспериментальной камере	
ФЮРА 421000.010 Э3 Схема принципиальная электрическая АСР влажности в экспериментальной камере	
ФЮРА 421000.010 С4 Схема монтажная АСР влажности в экспериментальной камере	

Введение

Контактные соединения (КС) являются важной и неотъемлемой частью любой технологической системы. Наличие КС в таких сферах, как системы автоматического управления, электроэнергетические системы, электрооборудование авиасудов и др., делает его надежную работу очень важной.

Существует ряд факторов, влияющих на надежность КС [3]. Для выявления разных причин предотказового состояния изучены и разработаны методы диагностики состояния, а для предотвращения сбоев системы, включающих КС, разработаны методики прогнозирования их надежности.

В данной работе для диагностики состояния используется метод тепловизионного мониторинга с использованием тепловизора Testo 890. В качестве объекта исследования выступает контакт-деталь выключателя. Данные, полученные в ходе моделирования, будут использованы для прогностического расчета надежности с применением математических моделей (интенсивности отказов), а также верификация данных моделирования КС в программном продукте Ansys экспериментальными результатами.

Полученные результаты позволят прогнозировать момент отказа КС и, не допуская сбоев в системе, преждевременно заменить элемент с дефектом, что, вероятно, сократит как производственные потери, так и экономические затраты.

1 Анализ методов диагностики электрических контактов

В работе любого технического объекта всегда является важным обеспечение надежности и безопасности материалов, элементов, составляющих объект. Сбои в работе объекта могут привести к ухудшению качества работы и производимой продукции, к прекращению работы объекта и также к возникновению аварий на объекте [1]. Электроконтактные соединения присутствуют во многих технических системах, в том числе и в теплотехнических, и являются одним из важных элементов.

Электрический контакт представляет собой место перехода тока из одной токоведущей детали в другую. Такие соединения осуществляют коммутирование различных элементов электрической цепи и подсоединение проводников к источникам или потребителям электроэнергии [6].

Например, согласно [2], до 25 % аварий на силовом оборудовании электростанций произошло в результате отказов электрических контактных соединений (КС) за период 2002 – 2007 гг.

Условия работы, определенные факторы оказывают негативное влияние на состояние контактных соединений, которые со временем теряют свои начальные характеристики. Основные факторы, которые непосредственно влияют на контакт и соответственно определяют скорость и степень износа КС [3]:

- параметры окружающей среды (температура и влажность);
- значения тока и напряжения;
- материал контактов, в том числе их размеры, формы;
- время и амплитуда вибраций контактов в момент замыкания и др.

При длительном номинальном токе на переходном сопротивлении контакта выделяется мощность, которая вызывает нагрев контакта, что является причиной размягчения и плавления материала контактов. При коротком замыкании через контакты проходят токи в 10...20 раз превышающие номинальные значения. Температура контактной площадки достаточно

мгновенно повышается вследствие малой постоянной времени нагрева (представляет собой отношение теплопоглощающей способности тела к его теплоотдающей способности и зависит от размеров, поверхности и свойств проводника или тела) и может достигнуть температуры плавления, что приводит к свариванию контактов [6].

Контактные соединения и контакты из разнородных материалов подвержены коррозии больше, чем из однородных металлов. Кроме того, контактные поверхности даже при тщательной обработке обладают шероховатостью, поэтому контактирование происходит не по всей площади контакта [5].

В режиме замыкания контактов возможны вибрация контактов и их эрозия, которая представляет собой перенос металла с контакта на контакт при прохождении электрического тока [6]. При замыкании контактов происходит соударение, в результате чего случается упругая деформация материала обоих контактов. Это становится причиной отброса подвижного контакта, и он отскакивает от неподвижного. Между контактами при каждом отбросе возникает электрическая дуга, которая вызывает износ контактов в виде распыления и оплавления материала контактов.

1.1 Влияние параметров окружающей среды на контактные соединения

Окружающая среда подразумевает собой совокупность внешних климатических, механических, физико-химических, биологических факторов, оказывающих влияние на состояние изделий [7].

Все многообразие факторов, воздействующих на объект, можно разделить на субъективные и объективные. К субъективным факторам относят неправильное обслуживание и ошибки обслуживающего персонала. Объективные факторы подразделяются на внешние, исходящие из окружающей среды, и внутренние, зависящие от особенностей самого объекта [7].

Климатические воздействия относятся к внешним факторам и включают в себя такие параметры как температура, влажность, атмосферное давление,

солнечная радиация, примеси воздуха. В данной работе будут рассмотрены два параметра окружающей среды, которые оказывают существенное влияние на КС – изменение влажности и температуры среды.

Влажность окружающей среды влияет на физико-механические свойства и параметры материала контакт – деталей, что проявляется в изменении их удельного электрического сопротивления. Главная характеристика влажности – относительная влажность – является случайной величиной, зависящей от температуры окружающей среды. При изменении влажности происходит образование оксидных и сульфидных пленок на поверхности контактных элементов. Поверхности, покрытые пленками окислов, имеют более высокое переходное сопротивление, по сравнению с чистыми поверхностями [5]. Возрастание переходного сопротивления приводит к увеличению мощности, выделяемой на сопротивлении и, как следствие, повышению температуры контактного соединения [8].

Назарычевым А.Н. предложена математическая модель расчета электрооборудования с учетом температурного фактора. Приведены результаты зависимости срока службы электрооборудования (на примере трансформатора ТДЦ-80000/110) от температуры окружающей среды при расчете фактической наработки с определением остаточного ресурса электрооборудования [9, 10].

Исследование надежности электрооборудования и электрических систем с применением аналитического и статистического инструментария при учете изменяющихся условий эксплуатации приведено в [11]. Структура программного инструментария включает в себя элементы: шаблон исходных данных элементов исследуемого объекта и библиотеку реализованных элементов; шаблон данных параметров моделирования в виде номинальных величин и отклонений от них; дерево возможных связей между элементами; шаблон влияния различных факторов в виде процедуры аналитической зависимости для каждого элемента системы между показателями надежности и параметрами моделирования [11]. В разработанном программном алгоритме предусмотрено дополнительное поле для включения значений температуры,

влажности и других факторов среды. Результат расчета показателей надежности (вероятности безотказной работы и среднее время безотказной работы) показал, что результирующая вероятность безотказной работы всей системы уменьшается при повышении температуры элементов и по причине влияния условий окружающей среды.

В [12] рассмотрено влияние факторов окружающей среды, таких как влажность, перепад температур, ультрафиолетовое излучение на адгезионную прочность, микроструктуру и радиотражающие свойства покрытий рефлекторов антенн из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Результаты экспериментов, выполненных в климатической камере, показывают, что покрытия, нанесенные по предложенной в работе технологии, являются стойкими к воздействию факторов окружающей среды.

Температурное воздействие на КС, которые находятся в здании (цеху), обусловлено как температурой окружающей среды, так и нагревом самих КС при протекании через них электрического тока. В замкнутом пространстве с другими электрическими устройствами, которые конвекцией передают тепло в окружающее пространство, КС нагревается, что увеличивает температуру электрического контакта. Скорость повышения нагрева КС зависит от теплопроводности материалов контакт – деталей. С учетом внутреннего тепла, выделяемого КС при протекании через него электрического тока, температурное воздействие на контакт увеличивается. Рост температуры КС влечет за собой постепенный износ металлов, который приводит к отказу КС, разрыву электрической сети.

1.2 Электрические эффекты в контактных соединениях и их свойства

Общая классификация электрических контактных соединений приведена в ГОСТ 10434-82, который описывает различные классы электрических контактных соединений, определяет требования по их электрическому сопротивлению, критерии предельных состояний – тепловые режимы в

предельном состоянии (при протекании номинального тока наибольшая допустимая температура контактного соединения не должна превышать значений, указанных в ГОСТ).

Различают две группы контактных соединений: неподвижные и подвижные. Неподвижные контактные соединения служат для жесткого присоединения внутренних токоведущих частей и внешнего присоединения соединительных проводов к электрическим аппаратам низкого и высокого напряжения. Во время работы аппарата такие соединения не разъединяются. Неподвижные электрические КС бывают неразмыкаемые и размыкаемые. Размыкаемые контактные соединения осуществляют периодическое замыкание и размыкание электрической цепи [6].

В случае неразмыкаемых контактов при соединении проводников между собой их контакт реализуется за счет нажатия одного токоведущего элемента на другой с использованием болтов, винтов, заклепок, за счет металлического соединения сваркой, пайкой [6].

В неразмыкаемых КС реализуется режим замкнутого состояния, при котором осуществляется непрерывный контакт. В таком режиме возможны два случая: через контакты проходит длительное время номинальный ток, через контакты проходит ток короткого замыкания [6].

1.2.1 Зависимость контактного сопротивления от протекающего тока

Величина тока имеет большое влияние на состояние КС. Процесс прилипания контактов ускоряется при пропускании через них большого тока. При определенной величине тока происходит размягчение, а в ряде случаев и плавление отдельных частиц материала контактов. При этом оксидные пленки частично или полностью разрушаются, что приводит к увеличению рабочей поверхности контактов, следовательно, к возрастанию прочности сваривания и прилипания контактов. Прилипание контактов из разных металлов начинается с момента размягчения более твердого металла [5].

При температуре размягчения площадка касания увеличивается, а переходное сопротивление при неизменном нажатии резко понижается. Это состояние имеет место при напряжении на контактах, равных напряжению рекристаллизации U_p или размягчения материала (напряжение размягчения – напряжение, при котором происходит размягчение металла). Если температура размягчения продолжает расти, то площадка касания может расплавиться, под действием приложенной силы площадка вновь увеличится, сопротивление упадет еще раз, чему соответствует напряжение плавления $U_{пл}$ (напряжение плавления – напряжение на контакте, при котором температура в месте контакта достигает температуры плавления металла) [5].

В таблице 1 приведены температуры и напряжения в контакте для двух характерных точек – точки размягчения материала Θ_1 , U_p и точки плавления материала Θ_2 , $U_{пл}$ [5].

Таблица 1 – Значения параметров материалов

Материал	Θ_1 , °С	U_p , мВ	Θ_2 , °С	$U_{пл}$, мВ
Олово	100	70	232	130
Серебро	150	90	960	350
Алюминий	150	100	658	300
Медь	190	120	1083	430
Сталь	500	210	1530	600
Никель	520	220	1455	650

Из таблицы 1 видно, что при сравнительно небольшом напряжении (сотни милливольт) в электрическом контакте происходит значительное повышение температуры. Нагрев в этом случае происходит, прежде всего, в области фактического касания выступов шероховатостей и по мере отдаления от нее температура резко снижается [13].

1.2.2 Критерии качества электрических контактов

Вследствие увеличения протяженности электрических сетей, развития средств автомобильной, авиационной и космической отрасли дефекты проводов, кабелей и соединителей становятся серьезной проблемой. Сбои, аварии или отказы происходят из-за обрыва кабелей, некачественной

опрессовки кабельных разъемов или деградации соединителей. Контактное соединение в случае недостаточного соприкосновения представляет собой контакт с малой поверхностью касания. Такие контакты являются «слабым» участком в токоведущей цепи и способны с течением времени ухудшать свои свойства, например, на контактных поверхностях может появиться оксидная пленка, что может приводить к повреждению контактных соединений. Кроме того, трудность по своевременному обнаружению таких видов дефектов, как правило, приводит к аварийным ситуациям. Поэтому представляет интерес обнаружение дефектных контактов в любой технической системе.

Качество электрических разъемных контактных соединений определяется высокой надежностью эксплуатации, высокой прочностью и жесткостью, высокой износоустойчивостью, высокой климатической стойкостью, низким и стабильным коэффициентом трения, высокой стабильностью контактного усилия [14].

Несмотря на то, что целесообразно уточнение показателей надежности (безотказность, долговечность и ремонтпригодность), установленных изготовителями по результатам технического диагностирования (прогнозирования остаточного ресурса), статистические данные, полученные в процессе эксплуатации, показывают, что интенсивность отказов и физический износ элементов существенно изменяются в различные периоды эксплуатации. Зависимость интенсивности отказов λ элементов сложных систем от их срока службы представлена на рис. 1.1 [57].

Основной характеристикой электрического контакта является переходное сопротивление. При хорошо выполненных контактных соединениях участок цепи с контактом, должен иметь сопротивление, превышающее сопротивление участка цепи такой же длины и не содержащего КС не более чем на 20% [5].

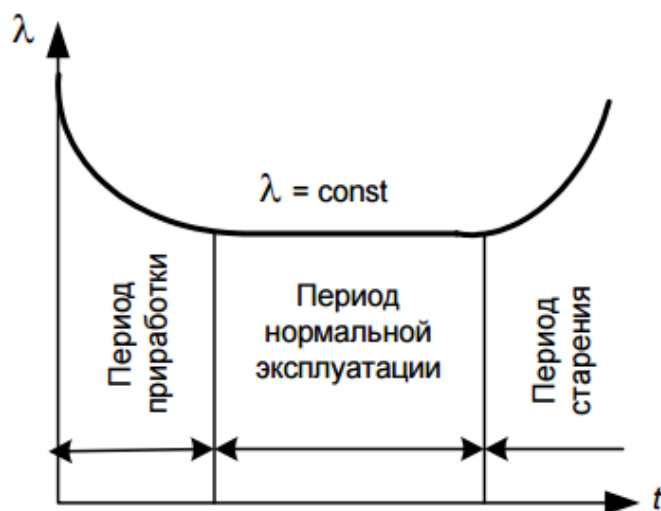


Рисунок 1.1 – Общий вид зависимости интенсивности отказов элементов от времени

Увеличение сопротивления контактного соединения может говорить об ухудшении качества контакта. Поэтому отношение сопротивления участка, включающего контакт, к сопротивлению такого же целого участка является одним из основных показателей, которое получило название коэффициента дефектности K_R контакта по сопротивлению [5].

$$K_R = R_{\Pi} / R, \quad (1.1)$$

где R_{Π} – сопротивление участка, включающего контакт, Ом;

R – сопротивление целого участка, Ом.

Учитывая, что повышение сопротивления вызывает увеличение падения напряжения на данном участке, о качестве контактного соединения можно судить также по величине падения напряжения при определенной силе тока или сравнивая падение напряжения на участке с контролируемым контактным соединением и на таком же участке без КС. Таким образом, отношение падения напряжения на первом участке к падению напряжения на втором может являться вторым показателем качества контакта, который называют коэффициентом дефектности контакта по падению напряжения K_U [5].

$$K_U = U_{\Pi} / U, \quad (1.2)$$

где U_{Π} – падение напряжения на первом участке, В;

U – падение напряжения на втором участке, В.

Известно, что при плохом контакте, когда через него протекает электрический ток, выделяется значительное количество тепла и контакт сильно нагревается. Следовательно, отношение температуры контакта к температуре целого проводника является третьим показателем качества контакта, называемым коэффициентом дефектности по температуре K_t [5].

$$K_t = t_K / t, \quad (1.3)$$

где t_K – температура контакта, °С;

t – температура целого проводника, °С.

Для одного и того же контактного соединения выполняется соотношение $K_R > K_U > K_t$. Поэтому из перечисленных показателей сопротивление контакта постоянному току является более предпочтительным критерием качества контактного соединения. Однако это не исключает использование и других рассмотренных критериев в качестве дополнительных и даже основных, если воспользоваться первым критерием по каким-либо причинам затруднительно [5]. К этим причинам можно отнести возможность оценки состояния КС по нагреву, оценка состояния КС в цепи переменного тока.

1.3 Методы и средства обнаружения дефектов в электрических контактах

В промышленности наиболее часто используются два метода контроля неразъемных соединений: разрушающий (выборочный) контроль качества по силе отрыва и характеру разрушения соединения и неразрушающий визуальный контроль – отбраковка потенциально ненадежных соединений по результатам визуального осмотра.

Разрушающий контроль предполагает проведение операций над исследуемым объектом, после которых его использование становится невозможным. Обычно контактные соединения подвергаются таким испытаниям как воздействие повышенным напряжением, усилием на отрыв (для оценки механической целостности обжимного соединения), распил для осмотра

внутренней структуры контакта, воздействие агрессивными средами (при этом контроль сводится к сравнению полученных результатов с результатами измерений эталонного контакта) [14, 15].

Испытания изоляции повышенным напряжением позволяют выявить локальные дефекты, не обнаруживаемые иными методами. К контактному соединению прикладывается испытательное напряжение, превышающее рабочее напряжение, и нормальное соединение выдерживает испытания, а дефектное пробивается. Контроль повышенным напряжением дает только косвенную оценку прочности соединения, и его основная задача - проверка отсутствия грубых сосредоточенных дефектов [14].

Принцип неразрушающего контроля – наблюдение, регистрация и анализ результатов взаимодействия с объектом контроля воздействующих факторов (физических полей, т.е. излучений, или веществ), причём характер этого взаимодействия зависит от химического состава, строения, состояния структуры контролируемого объекта и т.п. В зависимости от типа физического взаимодействия с контролируемым объектом неразрушающий контроль подразделяют на:

- оптический;
- электрический;
- тепловой;
- акустический;
- магнитный;
- вихретоковый;
- радиоволновый;
- радиационный;
- контроль проникающими веществами.

Каждый вид контроля решает ограниченный круг задач [16].

1.3.1 Методы на основе визуального контроля, в том числе по полученным изображениям контактов

Один из методов неразрушающего контроля заключается во внешнем осмотре объектов. Визуальный осмотр – наиболее простой и широко распространенный метод контроля. Данный метод позволяет выявить явные дефекты контактов, в основном вызванные нарушением технологии монтажа. Например, внешние дефекты сварных швов: наплывы, непровары, подрезы, смещение свариваемых кромок деталей, наружные трещины и поры [16]. В контактных соединениях, выполненных опрессовкой, наблюдается неправильный подбор гильз или наконечников, недостаточная степень опрессовки, неполный ввод жилы в наконечник, смещение стального сердечника в соединителе провода и т.д.

При проверке неисправных электрических цепей рекомендуется перед включением выполнить визуальный осмотр электрической системы, в т.ч. осуществляется: проверка электрической цепи на наличие незаизолированных проводов; проверка наличия и степени износа изоляции с целью исключения возможности короткого замыкания; проверка наличия незакрепленных или неисправных электрических контактов и соединений, прежде всего электрических разъемов; проверка контактов, предназначенных для подключения напряжения питания, проверяют на коррозию и прочность соединения; кратковременное периодическое включение и выключение напряжения питания в электрической цепи или схеме [16].

Однако, только малую часть возможных причин возникновения аварии можно определить «органолептическим» методом – с помощью органов чувств. К тому же в данном случае большую роль играет человеческий фактор, так как результат проверки зависит от квалификации мастера, производящего осмотр. Поэтому необходима систематизированная, методичная и полная проверка функционирования устройства [17]. Однако при выполнении контактных соединений возможны дефекты, которые трудно определить при внешнем осмотре. В связи с этим применяют подходы, когда получают изображение

контакта под каким-либо воздействием, например, рентгеновским излучением. Далее на полученном изображении анализируется состояние контакта для выявления структурных дефектов.

Большинство аварий и перегрузок электрооборудования начинается с незначительного нагрева элементов. На этом основано применение специальных веществ – термоиндикаторов, которые при достижении определенной температуры резко изменяют свой цвет за счет химического взаимодействия компонентов.

Термоиндикаторы изготавливаются в виде наклеек необходимого размера с разным диапазоном температур от 40 до 260 °С. Наклеиваться могут на любую поверхность, в т.ч. на вогнутую и выпуклую, как обычный стикер. Также термоиндикаторные композиции изготавливаются в виде краски, которую наносят кистью ровным слоем на поверхность. Термоиндикаторы могут быть нереверсивные одноразовые или реверсивные многоразовые [18].

Термоиндикаторы нашли применение не только в промышленности, но и в медицине. Применение термочувствительных покрытий также эффективно для исследования распределения температуры в печах различного назначения, в том числе для обжига породы в производстве минеральных удобрений, в газовых и паровых турбинах и т.п.

Термоиндикация позволяет оперативно ликвидировать неисправный участок, если он находится в зоне прямой видимости, что не всегда осуществимо. К тому же индикатор может приводить к ложному срабатыванию, если причины нагрева не связаны с аварийным состоянием электрической цепи, а также не позволяет определить причины нагрева контакта.

Другим методом является тепловизионный мониторинг. В электроэнергетике целью тепловизионного обследования является выявление любых дефектов, с использованием тепловизора, что позволяет значительно сократить сроки, затраты на ремонтные работы, увеличить сроки между ремонтами, обеспечить безопасную и надежную работу электрооборудования.

Дефект деталей или частей оборудования влечет за собой изменение температуры этого участка, а колебания и расхождения температур, обнаруженные на тепловизионном приборе, фиксируются, не выводя агрегаты из работы. На термограмме видны все недостатки прежде, чем они перейдут в разряд крупных проблем. Технология таких работ включает в себя: проведение контроля во время эксплуатации в реальных условиях; проведение измерений бесконтактным методом; раннее выявление дефектов, что дает возможность устранить их вовремя, заказать запасные части. Все это приводит к снижению расходов на техническое обслуживание и на эксплуатацию; повышению надежности и безопасности сетей и систем; максимально снижает энергопотери [20].

Проводя обследование с помощью тепловизора, есть возможность определить дефекты и своевременно отремонтировать, предотвратив аварийные отключения в:

- контактных соединениях;
- соединительных шинах - цельных медных пластинах с штырями-зубьями, которые помещены в пластиковый изолятор;
- сборных шинах;
- измерительных трансформаторах;
- силовых трансформаторах;
- разъединителях;
- отделителях;
- выключателях;
- защитных аппаратах;
- предохранителях;
- конденсаторных батареях;
- воздушных линиях электропередач и т.п.

Достоинства метода заключаются в том, что для контроля не нужно прерывать работу устройств, не надо дотрагиваться до токоведущих частей или

использовать другие контактные методы измерений, всё выполняется на расстоянии и бесконтактным способом с помощью тепловизоров. Применение этих устройств оправдано для высоковольтных электроустановок, но, все чаще подобные устройства (тепловизоры, пирометры и т.д.) применяются и для диагностики состояния контактных соединений в низковольтных электроустановках [19, 20]. На рисунке 1.2 приведены примеры термограмм и обычных изображений электрических контактов с повышенной температурой.

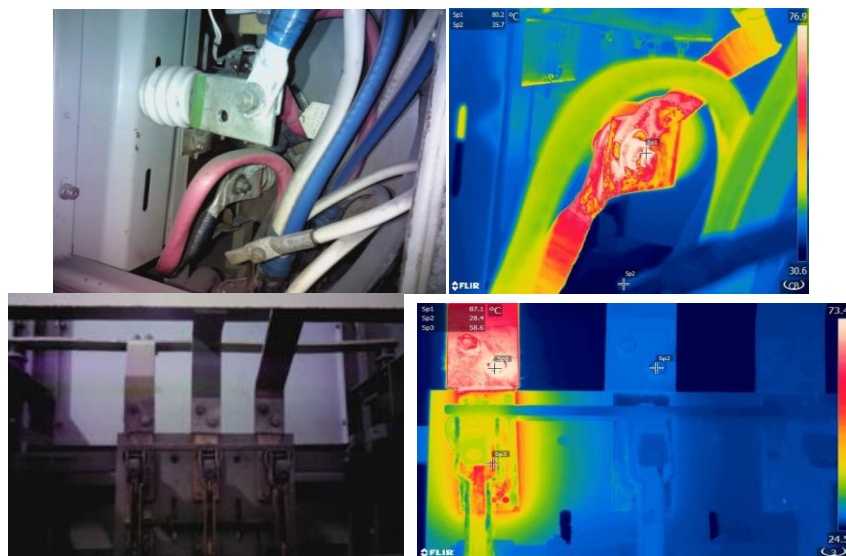


Рисунок 1.2 – Термограммы и обычные изображения ячейки питающего кабеля и ввода от трансформатора

Получение инфракрасного изображения с помощью тепловизора позволяет зафиксировать нагретый объект и определить его местоположение. Однако не представляется возможным получить сведения о том, почему этот объект нагревается, поэтому не ясно, что в результате необходимо сделать, какие действия предпринять, чтобы этот нагрев устранить. Температура объекта определяется процессами генерации и отведения тепла от него, поэтому вполне возможно, что нагрев возникает в результате штатной работы устройства и не вызван аварийным состоянием [19].

Для контроля паяных соединений применяется фотоакустическая микроскопия, которая успешно развивается благодаря высокой информативности, отсутствию существенного воздействия на образец,

однозначности и воспроизводимости получаемой информации, отражающей физическую сущность контролируемых характеристик [21].

Ряд дефектов материалов и изделий, связанных с нарушением сплошности (зародышевые дефекты начальных стадий возникновения, включения, пустоты, трещины, и т. п.), не всегда могут быть обнаружены существующими методами электронной, инфракрасной или рентгеновской микроскопии, но могут быть выявлены в процессе исследования их теплофизических характеристик при воздействии на исследуемый образец интенсивного сфокусированного модулированного электромагнитного излучения. В этом случае в объекте возникают определенные физические процессы, которые могут служить источником информации о теплофизических свойствах [21, 22]. На рисунке 1.3 представлены примеры дефектов, обнаруживаемых с помощью фотоакустической микроскопии.

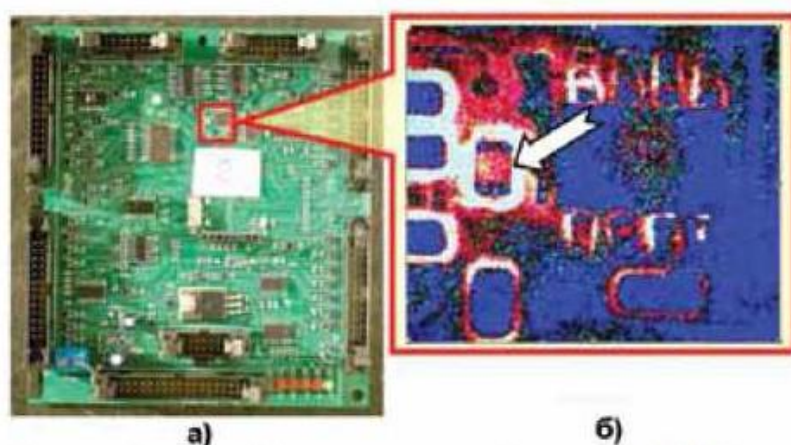


Рисунок 1.3 – Внешний вид печатной платы с SMD-элементами (а) и лазерная фотоакустическая топограмма (б) участка с некачественным (расслоившимся) чип-конденсатором

Использование описанного способа эффективно при контроле печатных узлов с большой плотностью монтажа. К недостаткам данного метода относится то, что необходимо обеспечивать должную разрешающую способность и чувствительность, что, в свою очередь, ведет к применению дорогостоящего оборудования. При этом контроль осуществляется в лабораторных условиях и требует демонтажа исследуемого объекта.

Более широкое распространение получил рентгеновский контроль [23, 24].

Применение рентгеноскопии является эффективным средством диагностики скрытых технологических дефектов, повышения качества и надежности выпускаемых изделий за счет обеспечения контроля каждого паяного соединения и целостности интегральных микросхем. Широкий ряд обнаруживаемых технологических дефектов, независимость от наличия доступа делают рентгеновский метод незаменимым для контроля сложных печатных узлов [25]. На рисунке 1.4 представлены примеры дефектов, обнаруживаемых рентгеновским методом.

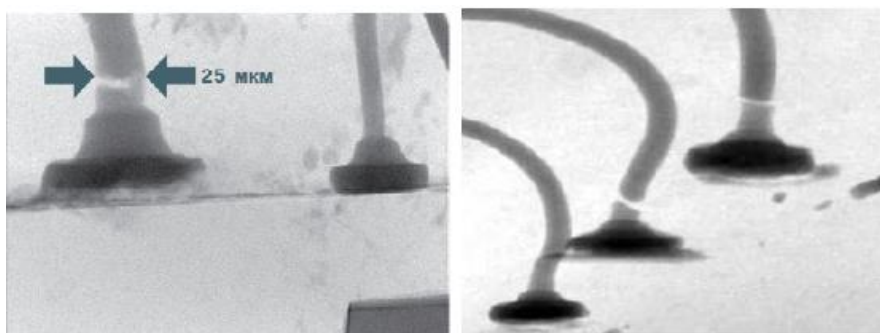


Рисунок 1.4 – Трещины в шариковом соединении золотой проволоки разварки

Появление нового типа дефектов при переходе к бессвинцовым технологиям (технология изготовления электронной аппаратуры без применения свинца), связанных с высокой температурой пайки, требует применения рентгеновских систем с высокими техническими характеристиками и функцией компьютерной томографии для их надежной диагностики и локализации (получения послойного изображения внутренней структуры объекта) [23].

Рентгеноскопия является дорогостоящим методом диагностики, поэтому находит применение, в основном, в электронной промышленности при создании микросхем.

1.3.2 Методы, основанные на прямом и косвенном измерении сопротивления контактов

В отличие от визуальных методов, которые предполагают осмотр и поиск дефектов в структуре контакта, электрические методы позволяют измерять электрические и физические параметры контакта и, оценивая величину параметра, делать вывод о качестве контакта [26]. Чаще всего диагностика контактных соединений осуществляется на основе измерения их электрического сопротивления (падения напряжения) либо путем определения температуры нагрева соединений.

1.3.2.1 Измерение сопротивления контактного соединения

Различают методы для измерения сопротивления при переменном токе и постоянном, измерение больших сопротивлений, сопротивлений малых и ультрамалых, прямые и косвенные и т.д. Самый простой метод – прямое измерение специальным прибором – омметром. Наиболее распространенными из косвенных методов являются метод измерения тока и напряжения на участке цепи (метод амперметра и вольтметра) и метод сравнения измеряемого сопротивления с эталонными (мостовой метод). К недостаткам метода измерения малых сопротивлений можно отнести дополнительную погрешность из-за влияния переходного сопротивления в точках подключения [26]. Чтобы избежать этого, применяют способ четырёхпроводного подключения, принцип которого состоит в том, что используются две пары проводов: по одной паре на измеряемый объект подаётся заданный ток, с помощью другой пары производится измерение напряжения на объекте, пропорционального сопротивлению объекта и силе тока [26]. Провода подсоединяются к выводам измеряемого двухполюсника так, чтобы каждый из токовых проводов не касался непосредственно соответствующего ему провода напряжения, при этом переходные сопротивления в местах подключения не включаются в измерительную цепь [26].

С учетом требований ГОСТ 2933-83 сопротивление соединений измеряют методом вольтметра-амперметра на постоянном токе,

микроомметром или двойным мостом. Сопротивление измеряют при температуре окружающей среды. Если среднее значение сопротивления выборки соответствует требованиям, представленным в таблицах 2, 3, то соединения считают выдержавшими испытания [23].

Таблица 2 – Начальное электрическое сопротивление контактных соединений с медными и латунными выводами по ГОСТ 21242- 75

Диаметр штыря, мм	3	4	5	6	8	10
Контактное сопротивление, мкОм	80	50	30	26	16	14

Таблица 3 – Наибольшая допустимая температура контактных соединений при протекании номинального тока (длительно допустимого) в установках до 1000 В

Характеристика соединяемых проводников	Температура нагрева, °С
Проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов без защитных покрытий рабочих поверхностей	95
Проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов с защитными покрытиями рабочих поверхностей неблагородными металлами	110
Проводники из меди и ее сплавов без изоляции или с изоляцией классов В, F и H по ГОСТ 8865-87 с защитным покрытием рабочих поверхностей серебром	135

Согласно ГОСТ 17441-84 электрическое сопротивление соединения измеряют на участке между точками, указанными на рисунке 1.4. Однако в случаях, обусловленных конструктивным исполнением изделий, допускается сопротивление не измерять. Сопротивление проводника измеряют на контрольном сопротивлении (целый участок проводника, равный условной длине l соединения, рисунок 1.5). Измерение ведут с помощью щупов с острыми иглами, разрушающими окисную пленку.

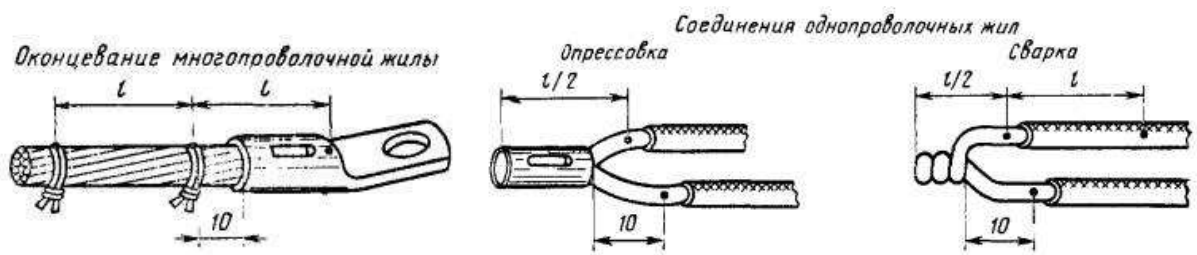


Рисунок 1.5 – Контактные соединения

В местах приложения измерительных (потенциальных) щупов на многопроволочных жилах проводов и кабелей должно быть обеспечено равномерное распределение тока и одинаковый потенциал по всем проволокам. Для этого рекомендуется сплавление проводов или припайка, опрессовка гильз или наложение бандажа из двух-трех витков медной луженой проволоки диаметром от 0,4 до 0,5 мм [22].

Несмотря на широкое распространение данного метода контроля, следует отметить следующий его недостаток. Если некачественный электрический контакт расположен, например, в коаксиальной линии передачи, и его сопротивление значительно превосходит допустимое значение, то не представляется возможным определить наличие такого контакта по измерению общего сопротивления линии [26].

1.3.2.2 Измерение температуры контактного соединения

Температуру контактов можно измерять средствами, применяемыми при испытании электрооборудования: термометрами сопротивления и термопарами (реже жидкостными термометрами). Чувствительный элемент измерительного прибора должен плотно прилегать к контролируемому участку, для этого термопары и термометры сопротивления можно наклеивать на необходимые участки и закрывать медной фольгой. Головки жидкостных термометров оборачивают несколькими слоями станиоли, тем самым плотно прикрепив к контролируемому участку, а снаружи прикрывают теплоизоляционным материалом [27].

С целью одновременного контроля температуры на нескольких участках обычно используют несколько термопар или термометров сопротивления,

последовательно подключаемых соответствующим переключателем к чувствительному прибору (гальванометру или милливольтметру). По причине того, что температура в местах холодного спая (подключения прибора к термопаре) в различных условиях проведения измерений будет разной, термопары, как правило, градуируют на температуру перегрева (разность температуры горячего и холодного спая). Зная температуру перегрева, нетрудно вычислить температуру контакта, прибавив к ней температуру воздуха в месте установки измерительного прибора [27].

Рассмотренные электрические методы контроля контактных соединений предполагают измерение их параметров. Для этого необходимо иметь доступ непосредственно к самому контакту.

1.3.2.3 Измерение коэффициента отражения сигнала

Измерение коэффициента отражения заключается в том, что на вход цепи подается тестовый импульс, и регистрируются отражения, вызванные рассогласованием импеданса с волновым сопротивлением цепи. Коэффициент отражения представляет собой отношение напряжений отраженного сигнала к падающему [28].

На этом принципе основаны дистанционные (зондирующие, рефлектометрические) методы измерений, использование которых эффективно для контроля целостности протяженных кабельных линий связи и электропитания. Такие методы перспективны для обнаружения дефектных КС, так как отсутствует потребность прямого доступа к контактам для измерения их параметров [28].

Зондирующие методы измерения базируются на теории распространения электромагнитных волн в среде. В качестве зондирующих используют импульсы с длительностью, которая значительно меньше времени их прохождения вдоль кабельной линии, поэтому в каждый момент времени импульс присутствует только на коротком участке линии. В однородной линии, не содержащей повреждений, импульсный сигнал беспрепятственно распространяется по всей линии. Если на его пути появляются неоднородности,

например, нарушение изоляции между проводниками, то часть энергии этого импульса проходит через эту неоднородность, а часть отражается и начинает распространяться в обратном направлении – к началу линии. Измерив время задержки принятого отклика, можно определить расстояние до места повреждения. Таким образом, импульсные методы позволяют измерить расстояние (электрическую длину линии) до места неоднородности (кабельной вставки, муфты) или повреждения, определить по коэффициенту отражения вид повреждения (обрыв, короткое замыкание, перепутывание жил, утечки, и т.д.) [29].

Импульсные методы измерения находят широкое применение при поиске мест повреждения кабельных линий связи и электрических сетей [26, 29, 30]. При этом совершенствуются подходы формирования тестовых импульсов, регистрации и обработки откликов [31 – 33].

Развитие уровня техники открывает перспективы создания рефлектометров, способных обеспечить контроль не только кабельных линий, но печатных узлов, за счет обеспечения высокой разрешающей способности [34].

Проблема использования рефлектометрии для обнаружения некачественного контакта по коэффициенту отражения заключается в том, что контакты всегда находятся в местах соединения линий. Это неизбежно сопровождается нарушением целостности изоляции кабелей, что приводит к рассогласованию линии в месте соединения. Таким образом, на рефлектограмме будет отображаться наличие изменения волнового сопротивления, однако при этом не представляется возможным оценить качество контакта [34].

1.4 Моделирование электрофизических процессов в контактных соединениях

Описание процессов, протекающих в контактных соединениях электрических сетей, является достаточно трудоемкой задачей, так как

необходимо учитывать многие факторы. Поэтому для создания более точной модели контактного соединения необходимо знать и учитывать комплексно как можно больше основных технических характеристик, которые влияют на функционирование электрических контактов.

В [35] приведены результаты моделирования сопротивления КС с использованием методов обработки экспериментальных данных, численных методов решения нелинейных уравнений, а также законы теории вероятностей и математической статистики. Работа [36] представляет разработку автоматизированной системы мониторинга технического состояния КС высоковольтного оборудования в режиме реального времени. Данная система контролирует разницу изменения температуры проводника и КС, также непосредственно переходное сопротивление каждого КС участка электрической сети с использованием технологии WSN – беспроводных сенсорных сетей (Wireless Sensor Network) [36].

Поскольку электрический ток проходит лишь через отдельные области проводимости, которые представляют собой выступы на поверхности соприкосновения контактов, линии электрического тока не могут распределяться равномерно по всей геометрической поверхности контактов, при этом они стягиваются к местам расположения областей проводимости и искривляются (рис. 1.6). Такое стягивание и уплотнение линий тока, задающих направление движения тока, ведет к увеличению электрического сопротивления прохождению тока в области проводимости [36]. Это сопротивление принято называть переходным сопротивлением, являющееся важным качественным показателем состояния любого контактного соединения. Если поверхность, проводящая ток, состоит из многих областей проводимости, то результирующее переходное сопротивление определяется как величина, обратная сумме проводимостей отдельных областей. Во многих случаях определение сопротивления стягивания представляет собой сложную задачу, так как необходимо учитывать формы отдельных областей проводимости, находить их размеры, расстояния между ними и одновременно учитывать

неравномерность их расположения на контактной поверхности. К тому же сопротивление каждой области проводимости меняется с изменением температуры поверхности контактов и со временем [36].

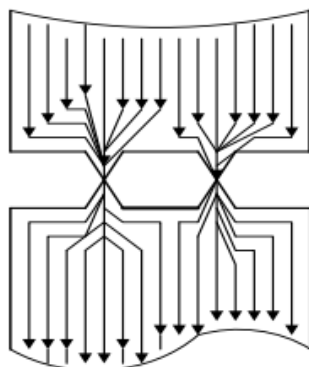


Рисунок 1.6 – Модель контакта

Переходное сопротивление контакта зависит от типа контактов: точечный, линейный и поверхностный (рис. 1.7) [6]. При сильном контактном нажатии за счет смятия выступающих неровностей переходное сопротивление уменьшается.

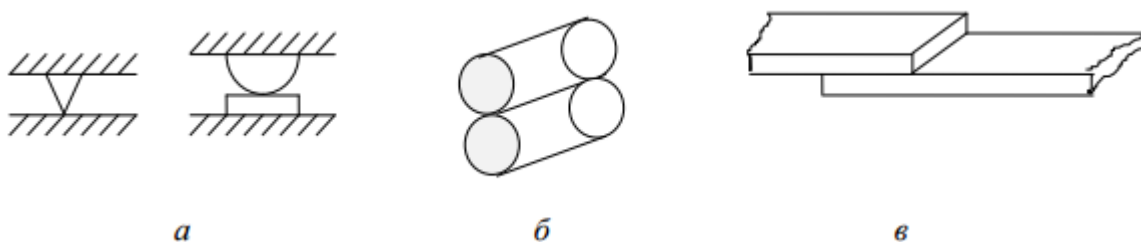


Рисунок 1.7 – Типы электрических контактов:

а – точечный, б – линейный, в – поверхностный

Например, в работе [37] предложена пространственная модель электрического контакта шероховатых тел, позволяющая вычислять величину электрической контактной проводимости в зависимости от усилия нажатия. Таким образом, решаются две задачи: механическое воздействие и задача электростатики.

В работе [5] был подробно рассмотрен процесс перехода тока из одного контакта в другой при касании двух цилиндрических контактов по торцам. Если предположить, что имеется только одна площадка касания, имеющая

форму круга с радиусом a . Радиус при пластической деформации можно найти с помощью формулы (1.4):

$$\pi \cdot a^2 = F_k / \sigma, \quad (1.4)$$

где a - радиус при пластической деформации, м²;

F_k – сила контактного нажатия, Н;

σ – временное сопротивление на смятие материала контакта, Н/м².

Если диаметр контакта превосходит диаметр площадки касания более чем в 15 раз, с точностью до 5% справедлива следующая формула для расчета контактного сопротивления [5]:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2a}, \quad (1.5)$$

где R_{Π} - контактное сопротивление, Ом;

ρ – удельное электрическое сопротивление материала контакта.

Если подставить выражение (1.4) в (1.5), то получим [5]:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot \sigma}{F_k}}. \quad (1.6)$$

Таким образом, контактное сопротивление, обусловленное стягиванием линий тока обратно пропорционально корню квадратному из силы контактного нажатия F_k [6].

При слабом прижатии контактных поверхностей, контактное сопротивление определяется малым количеством контактных точек и представляет собой некачественный контакт. Подобного рода контакты с дефектами могут образовываться, например, при некачественной опрессовке или обжиге кабелей [5].

Развиваются модели, с помощью которых проводятся исследования в направлении включения одного из факторов – тепловыделения контактирующих поверхностей. Протекание электрического тока через контакт является причиной выделения тепла в соответствии закона Джоуля - Ленца, которое нагревает КС. Рассмотрен случай измерения температуры контакта с помощью пирометра [38]. При контроле переходного сопротивления необходимо учитывать поправки на температуру среды и тепловыделение в КС.

В работе [39] рассматривается подход к определению температуры недоступной поверхности (ТНП), согласно которому задача определения ТНП сводится к задаче решения обыкновенного уравнения Коши первого порядка [40].

Также в задачах определения ТНП используется термоэлектрический эффект, когда электрическое сопротивление контактов меняется при нагреве контактов. Так, например, в [8] два разрывных контакта (производят замыкание, размыкание, переключение цепей электрического тока), сжатых некоторое время, могут прилипнуть друг к другу и остаться в таком положении после снятия усилия сжатия. Это явление объясняется совпадением структур кристаллических решеток обоих контактов, а также тепловыми эффектами, происходящими внутри материала контактов. При прохождении тока через область стягивания его линий контакт нагревается. Приблизительно превышение температуры в области стягивания можно найти по формуле [8]:

$$\Delta\tau_K = \frac{U_{II}^2}{8 \cdot \lambda \cdot \rho}, \quad (1.7)$$

где $\Delta\tau_K$ – превышение температуры, °С;

U_{II} – падение напряжения на переходном сопротивлении, В;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

ρ – удельное электрическое сопротивление материала контактов, Ом· м.

При увеличении тока через контакт увеличивается падение напряжения U_{II} . Согласно (1.7) возрастает значение превышения температуры $\Delta\tau_K$ контактной площадки [8].

2 Методы математического моделирования контактных

соединений

Анализ процессов, проходящих между контакт-детальями и в самих контактах, определения функциональных зависимостей некоторых выходных величин от ряда параметров решается их математическими моделями. Математическая модель – приближенное описание объекта моделирования, которое выражается с помощью математической символики [41]. При математическом моделировании осуществляется численный расчет описывающих исследуемые явления уравнений, степень полноты которых определяет точность моделирования.

Часто, уравнения, полученные в ходе решения поставленной задачи, трудно или даже невозможно разрешить аналитически. В таком случае применяют различные численные методы решения дифференциальных уравнений для получения приближенных результатов: методы Эйлера, Коши, Рунге-Кутты, разложения в ряд Тейлора, блочные, гибридные, линейные многошаговые методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и метод сеток, методы конечных разностей и элементов для решения дифференциальных уравнений с частными производными [42, 43].

Согласно [44] различают физическое моделирование, при котором оригинал и модель имеют одинаковую физическую природу рассматриваемых явлений. Важным является улучшение способов моделирования сложных процессов в электронергетических системах, повышение точности и достоверности моделирования.

В работе [45] предложен метод решения одномерного нелинейного нестационарного уравнения теплопроводности с использованием метода функций Грина, который позволил преобразовать уравнение к нелинейному интегральному уравнению Вольтерра. Сравнение с методом конечных элементов показало, что численно-аналитический способ позволяет снизить время расчета в 103 раза.

Милюкова О.Ю. предлагает новый численный метод решения начально-краевой задачи для уравнения теплопроводности с разрывным коэффициентом на основе многосеточного метода, который позволяет существенно уменьшить объем вычислений [46].

Решение задачи теплопроводности может осуществляться также для многомерных случаев и для областей неправильной формы. Однако решение задач с криволинейными границами представляется сложным и при определенных краевых условиях не рассматривается [47].

Существует большое количество программных комплексов для разработки и построения моделей КС, позволяющих проводить как пространственное моделирование (например, программные пакеты ANSYS, NASTRAN, ELCUT, T-FLEX, Fluent), так и программы для численного моделирования различных задач (MatLab). Программный комплекс «Transient heat transfer analysis» фирмы ALGOR Inc. работает одномерным распределением температуры, иначе говоря, расчетные модели строятся на предположении изменения температуры только вдоль условно выбранной продольной оси контактного соединения, в то время как температура по плоскости сечения, перпендикулярной продольной оси контакта, остается неизменной.

В данной диссертационной работе моделирование осуществлено с использованием метода конечных элементов. Суть метода заключается в том, что любую величину можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей (элементов). В качестве наблюдаемых параметров, влияющих на КС, выбираются температура и влажность среды. Разработка автоматизированной системы измерения этих параметров и математической модели КС в перспективе позволит прогнозировать наступление отказа.

3 Методы прогнозирования надежности технических объектов

Для исключения техногенных аварий необходима надежная работа всех элементов, входящих в состав технической системы, поэтому одной из важнейших задач является прогнозирование долговечности и надежности объектов. Такие мероприятия являются важным способом для продуманного планирования диагностических действий, сроков и объемов замены электроконтактных соединений.

Прогнозирование надежности технического объекта – это научное направление, которое изучает методы предсказания технического состояния объекта при воздействии на него тех или иных факторов. Прогнозирование применяется с целью определения остаточного ресурса систем, их технического состояния, числа ремонтов и технических обслуживаний, расхода запасных частей и решения других задач в области надежности [48].

Для прогнозирования в общем случае применяются разнообразные методы с использованием моделирования, аналитических расчетов, статистической информации, экспертных оценок, метода аналогий, теоретико-информационного и логического анализа и др. Методы прогнозирования направлены на обоснование требуемого уровня надёжности, на приблизительную оценку ожидаемого уровня надёжности объектов, на расчет интенсивностей отказов элементов.

В зависимости от требуемой достоверности прогноза и возможностей получения информации применяют два подхода к прогнозированию: упрощенный, основанный на детерминистических оценках показателей, и уточненный, основанный на вероятностных оценках. В первом случае характерна зависимость ресурса оборудования от его наработки и необходимость установления причины потери работоспособности оборудования, определения действующих на оборудование нагрузок. Уточненные методы требуют учета размеров и повреждений, которые возникают в элементах оборудования, что часто оказывается невыполнимым

условием, поэтому применяют выборочный контроль и оценку поврежденности по наибольшим размерам обнаруженных дефектов [49].

Согласно [48], по используемой в прогнозировании объему информации методы можно разделить на три группы:

- методы экспертных оценок – применяются в случае отсутствия достоверной информации об объекте и данных об изменениях его состояния за время эксплуатации;
- методы моделирования, используемые при наличии достаточного объёма статистических данных об изменении состояния однотипных объектов в процессе эксплуатации;
- статистические методы – основаны на экстраполяции и используются, когда имеются достаточно полные данные, но неизвестны общие закономерности изменения состояния объекта за время эксплуатации.

Статические методы подразумевают обработку соответствующих статистических данных для большого количества соединений. С помощью этих данных могут быть получены характеристики надежности и долговечности контактных соединений. Однако есть недостатки такого подхода, которые заключаются в необходимости проведения большого числа испытаний. Альтернативой такому подходу является статистический метод анализа временных рядов, в котором оценивается зависимость диагностических параметров (сопротивления или температуры контакт-деталей) от времени [48].

Современные методы прогнозирования надежности и технического состояния ЭО можно классифицировать согласно рисунку 3.1 [48].

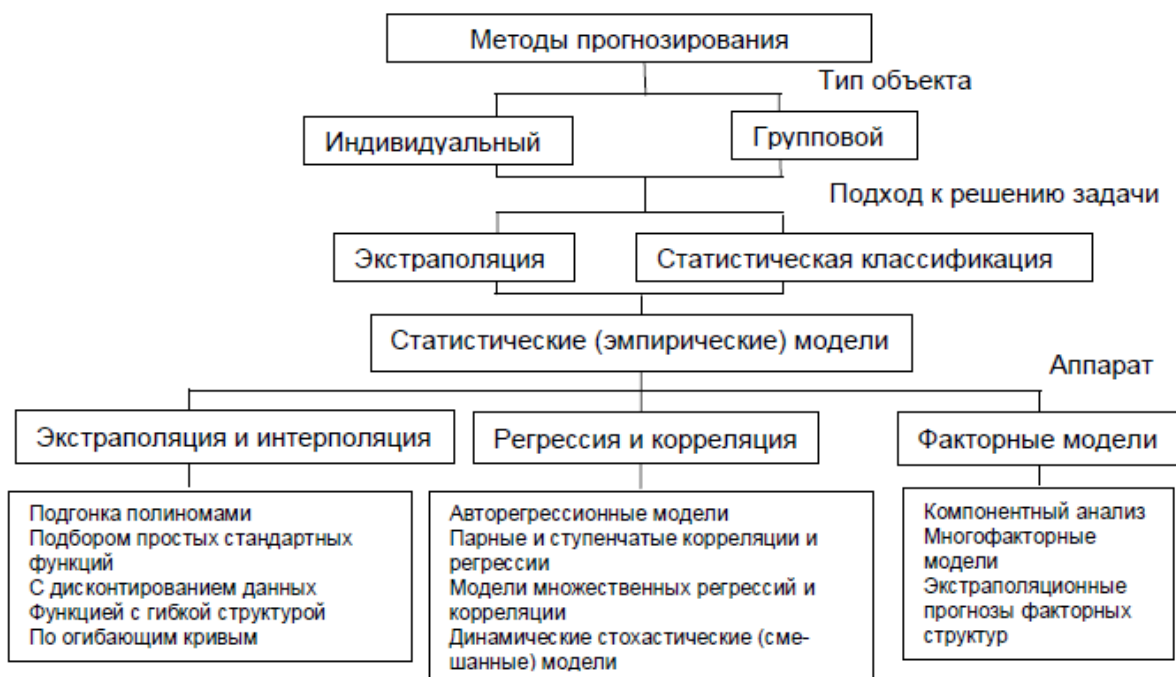


Рисунок 3.1 – Дерево системы методов и моделей прогнозирования

Кроме вышеперечисленных методов используют методы системного анализа, математического моделирования. Использование методов поддержки принятия решений и объектно-ориентированного программирования дает возможность разработки системы информационной поддержки принятия решений о выборе управляющих воздействий по предотвращению аварийных ситуаций в условиях малого объема и недостаточной точности информации о состоянии электроконтактных соединений электрических сетей на основе мониторинга ресурсного параметра [50].

Прогнозирование остаточного ресурса КС по результатам мониторинга превышения температуры ΔT (превышение температуры наиболее нагретой точки КС над температурой окружающей среды) в течение определенного периода с использованием модели ARIMA (модель и методология анализа временных рядов) рассмотрено в [51]. Методом статистического анализа тепловизионных данных рассматривается зависимость температуры превышения от времени.

Измайловым В.В. и Новоселовой М.В. предложена методика прогнозирования остаточного ресурса разборных и неразборных

электроконтактных соединений по результатам мониторинга электрического соединения в процессе эксплуатации [52].

В работе [65] приведены модели ускоренных испытаний для оценки надёжности полупроводниковых компонентов в реальных рабочих условиях (табл. 4).

Таблица 4 – Модели ускоренных испытаний полупроводниковых компонентов

Воздействующий фактор и модель	Математическое выражение
Температура Модель Аррениуса	$AF(T) = \exp \frac{\Delta E}{k} \left(\frac{1}{T_{use}} \times \frac{1}{T_{stress}} \right)$
Температура и напряжение смещения Модель Эйринга	$AF(V, T) = AF(T) \exp B(V_{stress} - V_{use})$ Параметр B зависит от физического механизма работы элемента или технологии. По умолчанию $B = 1$.
Температура и влажность Модель Пека (применяется для учёта эффекта коррозии в пластиковых корпусах)	$AF(rh, T) = \left(\frac{rh_{stress}}{rh_{use}} \right)^n \times AF(T)$ $n = 3, \Delta E = 0.9 \text{ эВ}$
Термоциклы Модель Коффина-Мэнсона (применяется для оценки эффекта усталости металла в паяных/сварных соединениях)	$AF(\Delta T) = \left(\frac{\Delta T_{stress}}{\Delta T_{use}} \right)^c \times \frac{f_c stress}{f_c use}$ Параметр C зависит от физического механизма работы элемента или технологии. По умолчанию $C = 2$.
ΔE – кажущаяся энергия активации [эВ] k – постоянная Больцмана ($8.617 \cdot 10^{-5}$ эВ/К или $1.381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К) T – температура кристалла [К] V – напряжение смещения [В]	rh – относительная влажность [%] ΔT – температура [°С или К] f_c – количество циклов в единицу времени [1/ч] AF – коэффициент ускорения

В [53] предлагается алгоритм прогнозирования ресурса электроконтактного соединения, которое опирается на применение двух параметров (k_1 задает предельно допустимый рост контактного сопротивления, при котором наступает параметрический отказ; k_c выполняет роль текущего контрольного сигнала для самокорректировки модели), измерение контактного сопротивления и мониторинг технического состояния КС в процессе эксплуатации.

Куньковым А.Е. и Спесивцевым А.В. был предложен способ прогнозирования остаточного ресурса технических объектов на основе метода формализации экспертной информации. Ими было разработано алгоритмическое обеспечение методики прогнозирования остаточного ресурса с использованием фаззи-моделей обобщенного показателя технического состояния объекта химических источников тока и извлечения из нее математическим анализом принципиально новой информации [54].

Разработанная в [55] вычислительная система и программный комплекс позволяют моделировать процессы в объеме контакт-деталей и реализуют решение комплекса дифференциальных уравнений, описывающих процесс протекания тока в электрических контактах при нестационарных внешних условиях. В форме модульного приложения, позволяющего эффективно внедрить элементы визуализации процессов и создать наглядный пользовательский интерфейс, данная расчетная среда позволяет эффективно масштабировать процесс вычислений: один пользовательский интерфейс может управлять одновременно несколькими расчетными блоками, которые выполняются на одном или нескольких компьютерах. В результате, снижение вероятности наступления отказа приведет к снижению ущерба для энергосистемы, связанного с аварийными ситуациями в коммутационном оборудовании. Разработанная система позволяет проводить профилактические меры по недопущению отказа электроконтактных соединений и повышает надежность функционирования элементов энергосистемы.

В [50] в качестве объектов исследования выбраны: аппаратные зажимы, дефекты которых являются самыми распространенными, на примере представителей ВЧ-заградителей; совокупность контактных соединений электрических сетей, выполняющих различные функции (передача мощности, информации, управляющих импульсов), и составляющих вместе контактную систему энергообъекта, функционирующую в промышленных условиях и подверженную воздействию неблагоприятных факторов, ведущих к деградиционному отказу.

4 Описание экспериментальной установки

Для получения данных по температурному полю на поверхности КС с помощью тепловизора Testo 890 необходимо создание определенных условий. Выполнение этой задачи в той или иной степени осуществимо в установке, представляющей собой замкнутое пространство (камеру) с источником теплового излучения, объектом исследования и измерительными устройствами.

В качестве источника теплового излучения используется прожектор мощностью 500 Вт, который закреплен в верхней части установки. Он обеспечивает постоянное тепловое излучение.

Температура среды в камере измеряется термометром контактным показывающим ТКП-100-М1, в состав которого входит первичный термоэлектрический преобразователь сопротивления с НСХ Pt100, технические характеристики которого приведены в каталоге продукции Элемер [58], предназначены для измерения и контроля температуры твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ, обеспечивают измерение температуры как нейтральных, так и агрессивных сред.

Для плавного регулирования напряжения переменного тока частотой 50-60 Гц при различных электротехнических работах применяется автотрансформатор. В данной работе используется автотрансформатор фирмы «Ресанта». Лабораторный трансформатор питается от сети переменного тока и передает напряжение выключателю и далее на нагрузку.

На сегодняшний день очень широкое распространение приобрели однофазные автотрансформаторы (ЛАТРы - «лабораторные автотрансформаторы») - это вид трансформатора, где первичные и вторичные обмотки не изолированы друг от друга, а электрически соединены напрямую, поэтому в них имеется не только электромагнитная связь, но и электрическая. Эта общая обмотка имеет несколько разных выводов (от 3 и более), подключившись к которым, возможно получить различные напряжения.

Цифровой мультиметр Mastech MY65 позволяет измерять величины силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления, коэффициента усиления биполярных транзисторов, емкость конденсаторов и частоту синусоидального сигнала в звуковом диапазоне. Питание мультиметра осуществляется батареей 9 В.

Тепловизор Testo 890 позволяет определять бесконтактным методом и визуализировать распределение температур на поверхностях. Технические данные приведены в инструкции по эксплуатации [59].

Датчик влажности и температуры ДВТ 03.т предназначен для контроля влажности и температуры воздуха и неагрессивных газов [60].

Устройство повышения влажности применяется для создания необходимых в эксперименте условий и имеет следующие характеристики: тип – ультразвуковой, напряжение питания – 220-240 В, потребляемая мощность – 35 Вт, емкость резервуара – 3 л [61].

Структурная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 4.1.

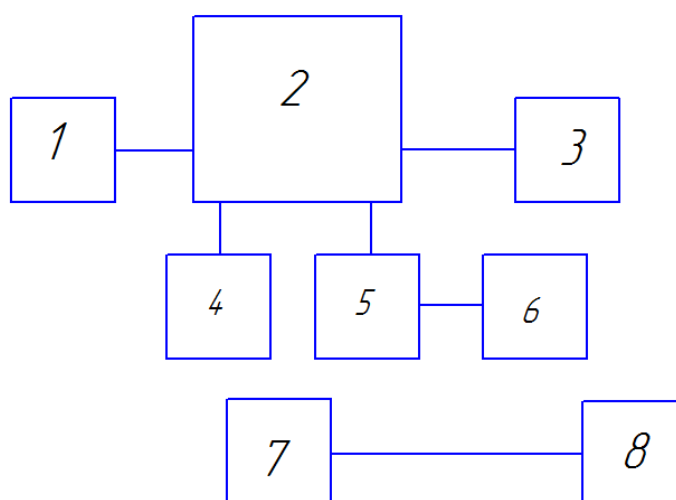


Рисунок 4.1 – Структурная схема экспериментальной установки:

1 – линейный автотрансформатор, 2 – камера, 3 – увлажнитель, 4 – термометр показывающий, 5 – датчик влажности, 6 – модуль питания, 7 – тепловизор, 8 - компьютер

Условия проведения эксперимента представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица эксперимента

Номер условия	Температура в камере, °С	Относительная влажность в камере, %	Значение мощности на КС, ВА
1	22 25 30 35 40 45 50	Const = 40	Const = 94,6
2	Const = 22	Const = 40	38,75 51 66,5 82
3	23 28 33 38 43 48	Const = 40	38,75 51 66,5 82
4	Const = 22	50 60 70 80 90	Const = 94,6
5	30 35 40 45 50	50 60 70 80	Const = 94,6

5 Разработка системы управления влажностью в

экспериментальной установке

Для автоматизации процесса измерения можно предусмотреть систему управления влажностью в камере, которая состоит из программируемого контроллера и двухпозиционного реле для включения / выключения увлажнителя.

С целью отображения измеряемых параметров разрабатывается функциональная схема экспериментальной установки. Список контролируемых технологических параметров и технологических сред объекта автоматизации, местоположение точек контроля технологических параметров и технических средств автоматизации, функции, выполняемые техническими средствами автоматизации, определяют в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 – Список контролируемых параметров и местоположение точек их контроля

Параметр	Способ получения информации		
	ПЛК		По месту
	измерение	управление	
Температура окружающей среды			+
Влажность	+	+	+
Электрический ток			+

Функциональная схема представлена на листе ФЮРА.421000.010 С2.

Выбор контроллеров для управления и регулирования проводится на основе характеристик устройств: технические характеристики, цена, возможности и т.п.

В таблице 7 представлена сравнительная характеристика двух ПЛК различных изготовителей [62].

Таблица 7 – Сравнительная таблица ПЛК

Характеристики	Simatic S7-300	Simatic S7-200
Программирование	SIMATIC S7/C7/WinAC	STEP 7-Micro/WIN, STEP 7 Micro/DOS
Тип, объем памяти хранения программ	От 4 МБ до 8 МБ, Flash	От 4 кБ до 24 кБ, от 2 кБ до 10 кБ памяти данных
Конструктивное исполнение	На профильную шину	На ДИН - рейку

Продолжение таблицы 7

Характеристики	Simatic S7-300	Simatic S7-200
Климатическое исполнение	IP20, (-40+70) град.	IP20, (0+55) град.
Интерфейсы:	Наличие встроенного интерфейса MPI, используемого для программирования, диагностики; встроенный последовательный интерфейс RS 422/RS 485; Industrial Ethernet	Наличие встроенного интерфейса PPI (RS 485), MPI, AS интерфейсы
Протоколы	3964 (R), RK-512, ASCII, TCP/IP, Profibus FMS, UDP, ISO, Profinet. Возможна поддержка нестандартных протоколов	Industrial Ethernet, PROFIBUS-DP, модемная связь
Дискретные входы на борту, развязка	24	6
Дискретные выходы на борту, тип, развязка	16	4
Аналоговые выходы на борту	2 аналоговых выхода (4...20 мА, 0...10В или универсальных 4...20 мА / 0...10 В)	нет
Аналоговые входы на борту, развязка, частота опроса	4 (универсальных)	нет
Возможности расширения	внешними модулями	нет
Цена, руб.	20000 - 70000	11000 - 44000

По результатам сравнения выбран контроллер Simatic S7-200, который предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Основные особенности контроллера:

- простота монтажа, программирования и обслуживания.
- решение как простых, так и комплексных задач автоматизации.
- возможность применения в виде автономных систем или в качестве интеллектуальных ведомых устройств систем распределённого ввода-вывода.
- возможность использования в сферах, где применение контроллеров раньше считалось экономически нецелесообразным.

- работа в реальном масштабе времени и мощные коммуникационные возможности (PPI, MPI (англ. *Multi Point Interface*), Industrial Ethernet, PROFIBUS-DP, AS интерфейс, модемная связь).
- компактные размеры, возможность установки в ограниченных объёмах.

Принципиальная электрическая схема определяет полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы служат основанием для разработки других документов проекта (монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и др.).

Принципиальная электрическая схема АСР температуры сетевой воды представлена на листе ФЮРА.421000.010 ЭЗ. Исходными данными для проектирования принципиальной электрической схемы являлась функциональная схема.

Информация о текущем значении регулируемого параметра с датчика температуры и влажности А3 поступает через модуль аналогового ввода А4 на центральный процессор А2, где сравнивается с уставкой. Процессор обрабатывает сигналы согласно программе и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на реле А5. Питание процессора и датчика осуществляет модуль питания А1 с напряжением на выходе 36 В.

На принципиальной электрической схеме приняты следующие обозначения:

- А1 – модуль питания Sitop Smart;
- А2 – центральный процессор CPU-222;
- А3 – ДВТ-03.Т;
- А4 – модуль аналогового ввода EM231;
- А5 – двухпозиционное реле РЭН35;
- А6 – увлажнитель.

Монтажная схема проектируемой АСР представлена на листе ФЮРА.421000.010 С4.

Монтажные схемы щитов и пультов проектируют с целью выполнения различных видов коммутации элементов системы автоматизации. В виду того, что разрабатываемая система низкой степени сложности, приборы размещены на лабораторном стенде. На схеме внешних проводок сверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения приборов и средств автоматизации. Для каждой внешней электрической проводки приводят ее техническую характеристику: марку, длину, сечение и количество жил.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми или медными жилами. Изоляция, оболочки и наружные покрытия кабелей должны соответствовать условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки.

Для информационных линий в системе автоматизации выбираем провод ПВС 1х1,5 с медной жилой, с изоляцией из ПВХ-пластиката. Для линий питания выбираем провод ПВС 3х2,5.

6 Моделирование контактного соединения в программе ANSYS

Моделирование контакт - деталей выполнено в программе Ansys и основывается на методе конечных элементов. Ansys — универсальная программная система конечно-элементного анализа [63].

Для моделирования теплообменных процессов в контактном соединении в среде Ansys Workbench используются модули thermal-electric и transient thermal. Модули используют связанную геометрию и базу данных. Результаты, полученные в решателе thermal-electric, используются для задания характеристик процессов в transient thermal. На рисунке 6.1 приведен общий вид рабочего окна Ansys Workbench с требуемыми модулями и связями между ними.

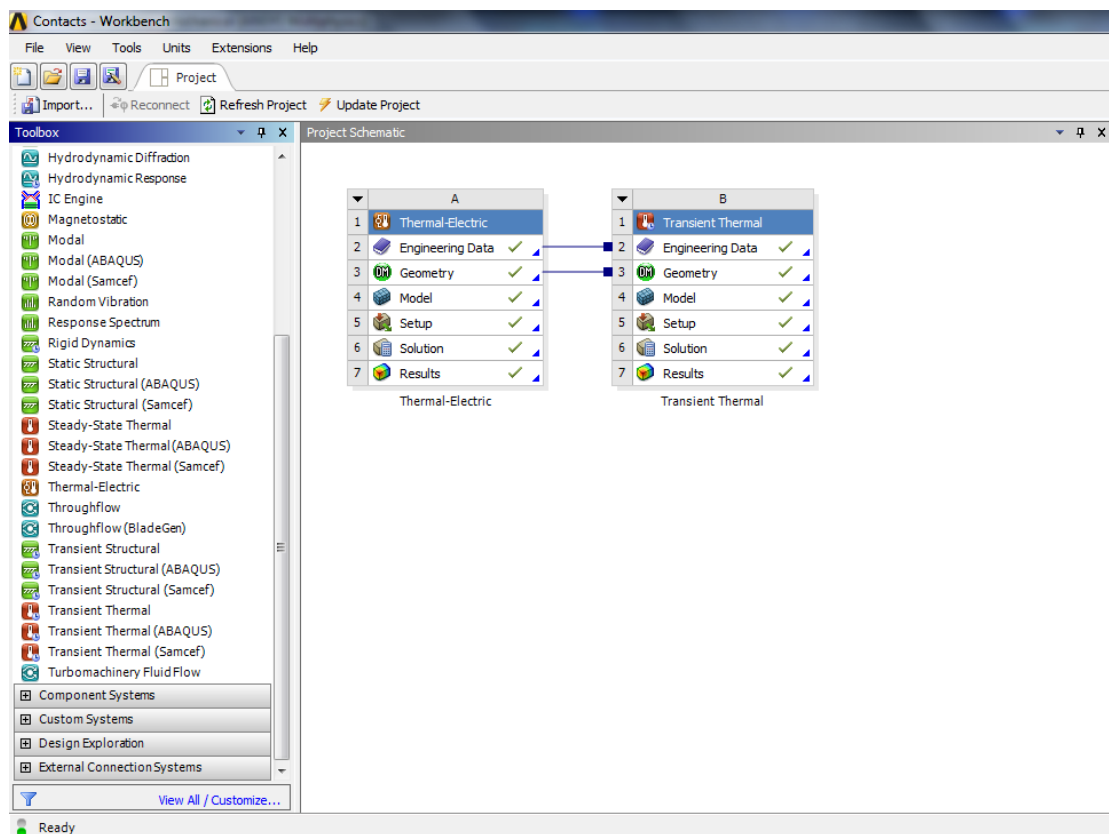


Рисунок 6.1 – Общий вид рабочего окна Ansys Workbench

Первым этапом моделирования является создание требуемой геометрии. Создание геометрии можно осуществлять непосредственно средствами Ansys или же использовать сторонние CAD-системы, например SolidWorks или AutoCAD.

На рисунке 6.2 показано рабочее окно DesignModeler – инструмента Workbench по работе с собственной или импортированной геометрией.

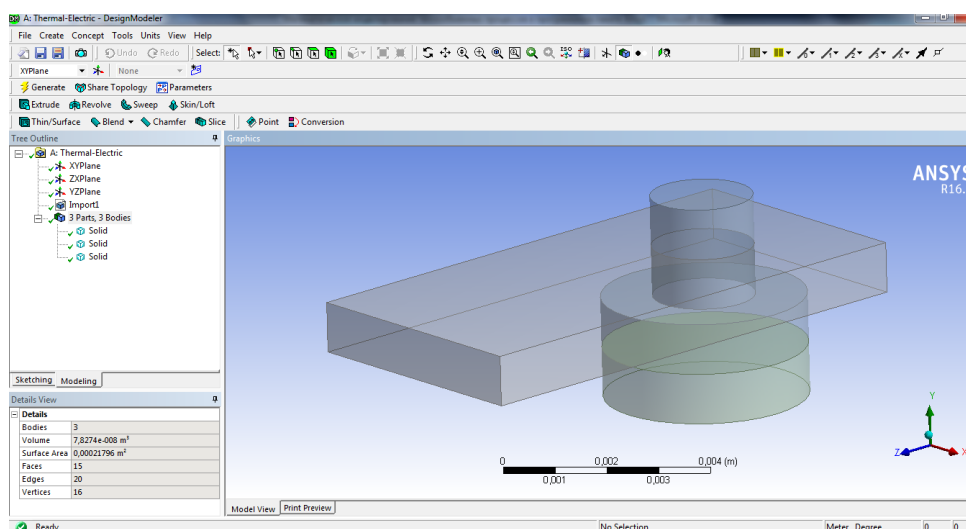


Рисунок 6.2 – Общий вид рабочего окна DesignModeler

Второй этап моделирования – настройка модели для расчетов. Для этого служит встроенный инструмент Mechanical, запускающийся при задании свойств модуля «Model, Setup, Solution или Result» (см. рис. 6.1). Внешний вид окна инструмента Mechanical представлен на рисунке 6.3.

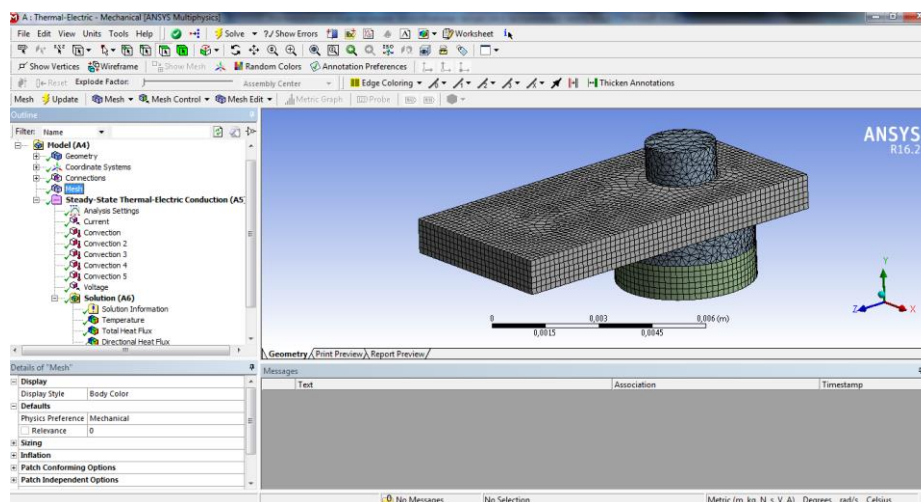


Рисунок 6.3 – Общий вид рабочего окна Mechanical

С помощью инструмента Mechanical задаются все требуемые параметры решателя: конечно-элементная сетка, граничные условия, начальные условия, осуществляется выбор материалов исследуемых элементов.

Для задания свойств материалов используется инструмент Engineering Data – база знаний модуля. Внешний вид окна Engineering Data представлен на рисунке 6.4.

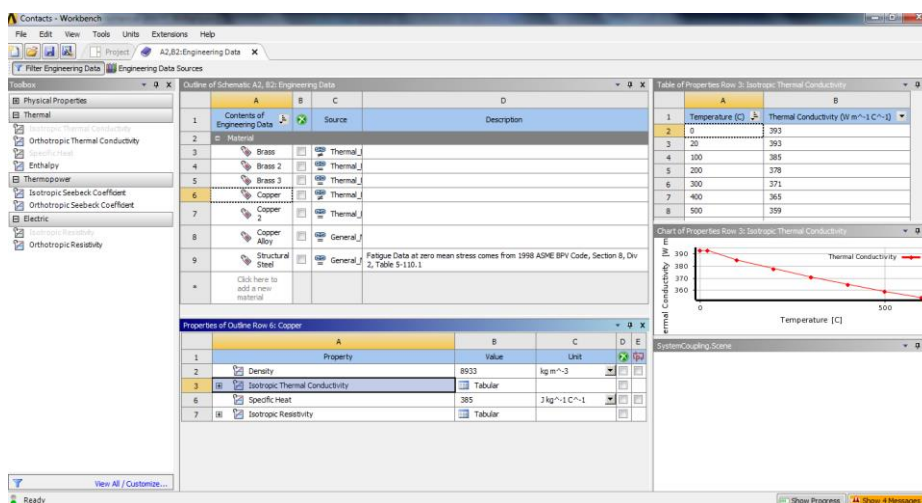


Рисунок 6.4 – Общий вид рабочего окна Engineering Data

С помощью инструмента базы данных можно выбирать требуемые материалы из встроенных библиотек, создавать собственные типы материалов, задавать требуемые параметры для материалов.

Рассматриваемая модель узла контактного соединения обладает следующими заданными параметрами:

- материал пластины: латунь с функционально изменяющимися параметрами теплоотдачи и удельного сопротивления;
- материал контактов: медь с функционально изменяющимися параметрами теплоотдачи и удельного сопротивления;
- конечно-элементная сетка: с качественной обработкой, средним сглаживанием, быстрыми переходами, стандартным размером ячеек (программный расчёт);
- параметры окружающей среды: задаются вручную для каждого случая (см. таблицу 5);
- начальные и граничные условия: сила тока задается вручную для каждого случая (см. табл. 5), напряжение задается вручную для каждого случая (см. табл. 5), коэффициент теплоотдачи 0,58 Вт/(м²·°C), излучательная способность меди 0,05, излучательная способность латуни 0,65.

Третий этап моделирования – настройка решателя, в котором задаются параметры решения: количество итераций, тип решателя, требуемые выходные параметры. Настройка решателя производится так же в инструменте Mechanical.

После выполнения приведённых выше пунктов, запускается решение задачи.

Результатами выполнения расчетов, являются картины распределения тепла по поверхности и объёму, температурных полей, распределения джоулевой теплоты. Примеры таких результатов приведены на рисунке 6.5.

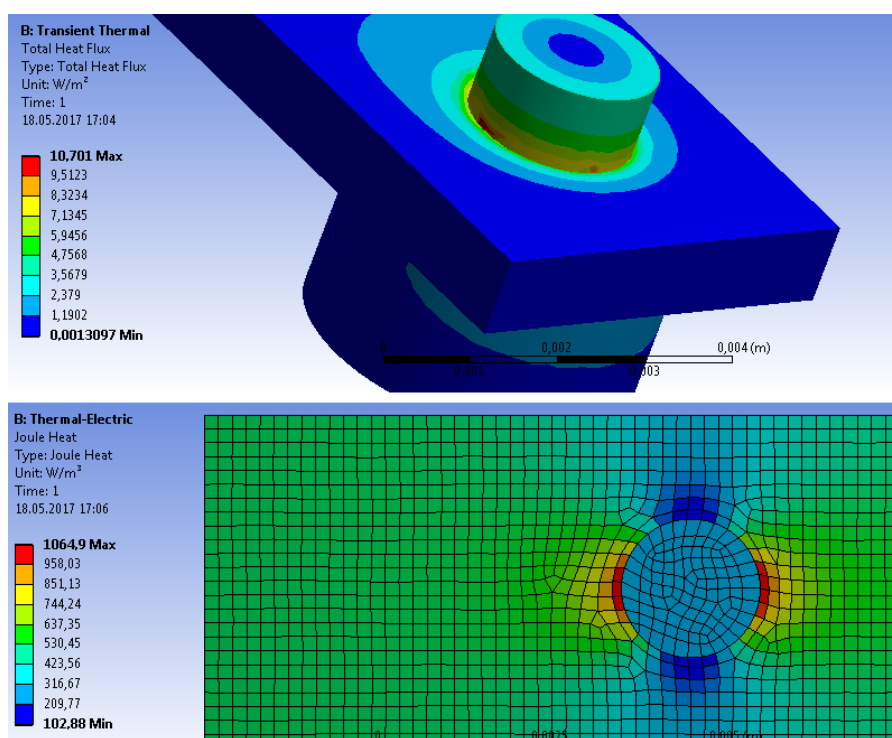
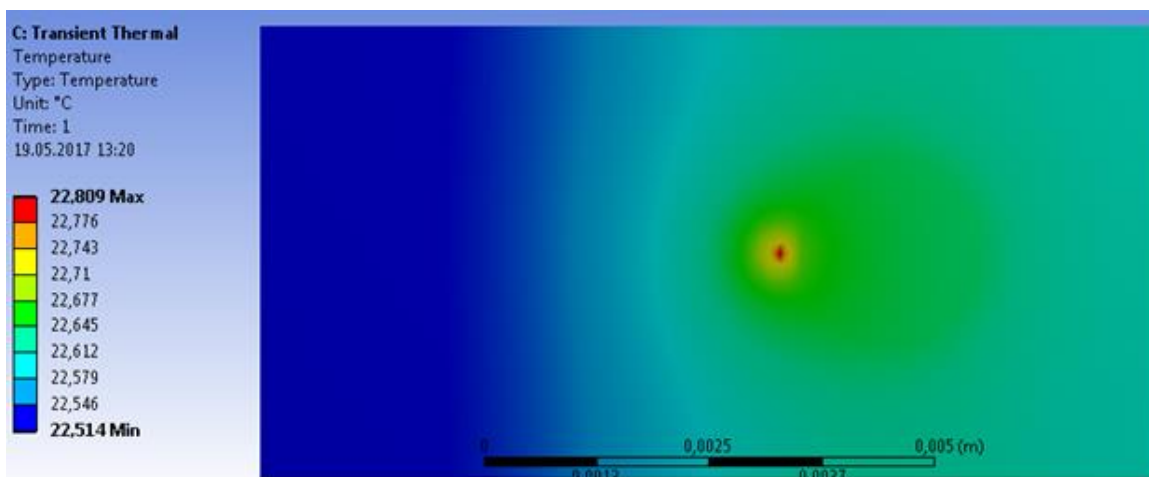


Рисунок 6.5 – Примеры результатов решения задачи в Ansys, иллюстрирующие распределения тепла по объекту

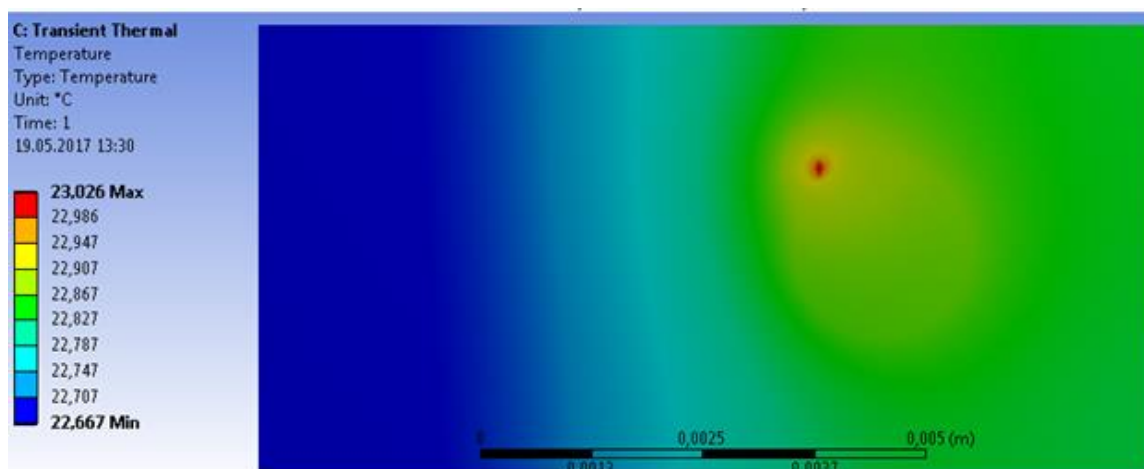
С помощью моделирования решается задача получения температурного распределения и определения наиболее нагретых областей на поверхности КС.

По рассмотренному выше алгоритму осуществляется решение требуемой задачи. Результатом решения являются графики температурных полей и значения температуры «горячей» точки для каждого случая.

Пример температурных полей для условия 1, при температуре в камере 22 °С, и условия 2, при мощности на КС 66,5 ВА, представлены на рисунке 6.6.



а)



б)

Рисунок 6.6 – Температурные поля при различных условиях:

а) температурное поле при температуре в камере 22 °С; б) температурное поле при мощности на КС 66,5 ВА

По рисунку 6.6 отчетливо виден нагрев непосредственно в зоне соединения медного контакта и латунной пластины за счет большего сопротивления (в силу не идеальности контакта поверхностей), а также можно наблюдать горячую точку на поверхности пластины.

Можно провести сравнение полученных тепловизором снимков с результатами моделирования. На рисунке 6.7 продемонстрировано сравнение изображений результатов эксперимента и моделирования для условия 3, при температуре 23 °С и мощности 38,75 ВА.

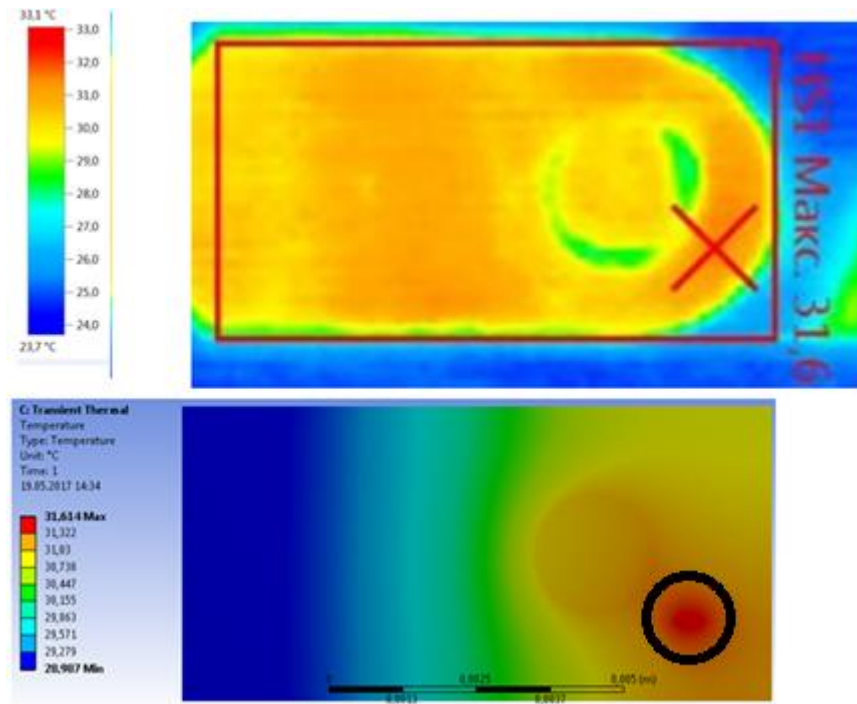


Рисунок 6.7 – Сравнение экспериментальной термограммы и смоделированного в Ansys изображения КС

Моделирование КС в программе показывает, что результаты, полученные в ходе эксперимента и моделирования, довольно близки по значениям. Таким образом, управляя условиями (температурой окружающей среды, мощностью), можно смоделировать температурное распределение на поверхности КС при более высоких температурах и мощностях. В таблице 8 приведены результаты моделирования при увеличении температуры среды в камере до 70 °C и мощности до 120 ВА.

Таблица 8 – Результаты моделирования

№ условия													
1	Температура среды, °С		22	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	Температура контакт-детали, °С		25,1	33,5	35,2	36,5	38,1	39,9	40,6	46,1	58,8	61,3	64,7
2	Мощность на КС, ВА		38,75			51			66,5			82	
	Температура контакт-детали, °С		21,741			22,408			23,026			23,528	
3			Температура контакт-детали, °С										
	Температура среды, °С		23		28		33		38		43		48
	Мощность сети, ВА	38,5	31,604	30,309		31,542		34,811		36,503		40,111	
		51	32,017	30,503		31,526		35,815		38,704		40,227	
		66,5	32,245	34,713		35,514		39,188		39,621		40,803	
		82	33,004	36,716		36,402		37,739		40,427		42,518	
		101,25	33,325	38,918		38,388		39,928		41,986		42,864	
120	33,767	41,261		40,245		41,143		43,255		43,644			
4	Относительная влажность в камере, %		50		60		70		80		90		
	Температура контакт-детали, °С		29,108		28,724		28,016		28,313		28,007		
5	Относительная влажность, %		50		60		70			80			
	Температура среды, °С	30	27,541	27,637		26,831			27,091				
		35	30,769	31,935		31,975			28,958				
		40	30,143	32,546		32,036			31,246				
		45	31,094	33,274		32,506			32,183				
50	31,685	33,861		33,162			33,692						

7 Анализ результатов моделирования контактного соединения

и эксперимента

С помощью тепловизора Testo 890 в результате эксперимента получены термограммы распределения температур на поверхности КС при заданных условиях среды в камере (рис. 7.1). Специальная программа в комплекте с тепловизором позволяет выделить «горячую точку» на исследуемой поверхности, таким образом, оценить температурное поведение КС при разных условиях окружающей среды. Результаты экспериментов в соответствии с установленными условиями приведены в таблицах 9 - 13.

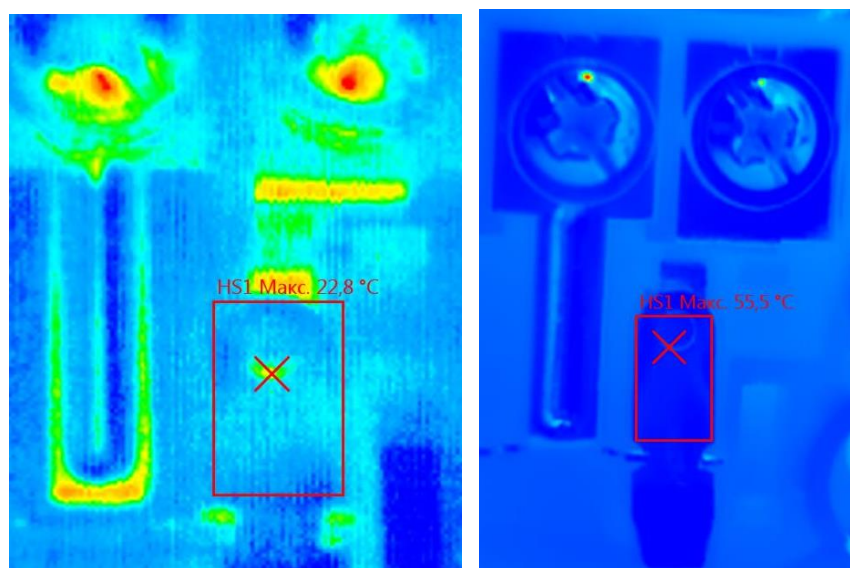


Рисунок 7.1 – Термограммы КС

Таблица 9 – Результаты эксперимента при изменении температуры в камере (условие 1, таблица 5)

№ серии	Температура контакт-детали, $t_{\text{кд}}$, °C						
1 серия	22,8	28,9	38,1	39	46,6	47,4	55,5
2 серия	25,5	34,2	35,7	36,7	37,7	39,6	40
3 серия	25,1	36,5	35,5	37,5	39,4	39	40,2

Таблица 10 – Результаты эксперимента при изменении мощности на КС (условие 2)

№ серии	Температура контакт-детали, $t_{\text{кд}}$, °C			
1 серия	21,7	22,4	23	23,5
2 серия	25,2	25,6	25,8	25,9
3 серия	26,4	27,1	27,1	27

Таблица 11 – Результаты эксперимента при постоянном значении относительной влажности в камере (условие 3)

№ серии	Температура контакт-детали, $t_{\text{кд}}$, °С					
1 серия	31,6	30,3	31,5	34,8	36,5	40,1
	32	30,5	31,5	35,8	38,7	40,2
	32,2	34,7	35,5	36,9	39,6	40,8
	33	36,7	36,4	37,7	40,4	42,5
2 серия	31,5	34,4	35,3	36,2	37	37,4
	31,5	34	36	36,9	37,1	37,6
	31,3	35	36,7	37,3	38,5	38,9
	31,4	34,9	38,3	38,8	38,6	40,1
3 серия	24,8	35,9	35,9	38,6	41,2	42
	24,8	36,1	36,2	39,3	41,7	42,9
	25	36,2	36,8	40,3	42,2	43,3
	25,4	36,5	37,7	40,7	42,4	43,4

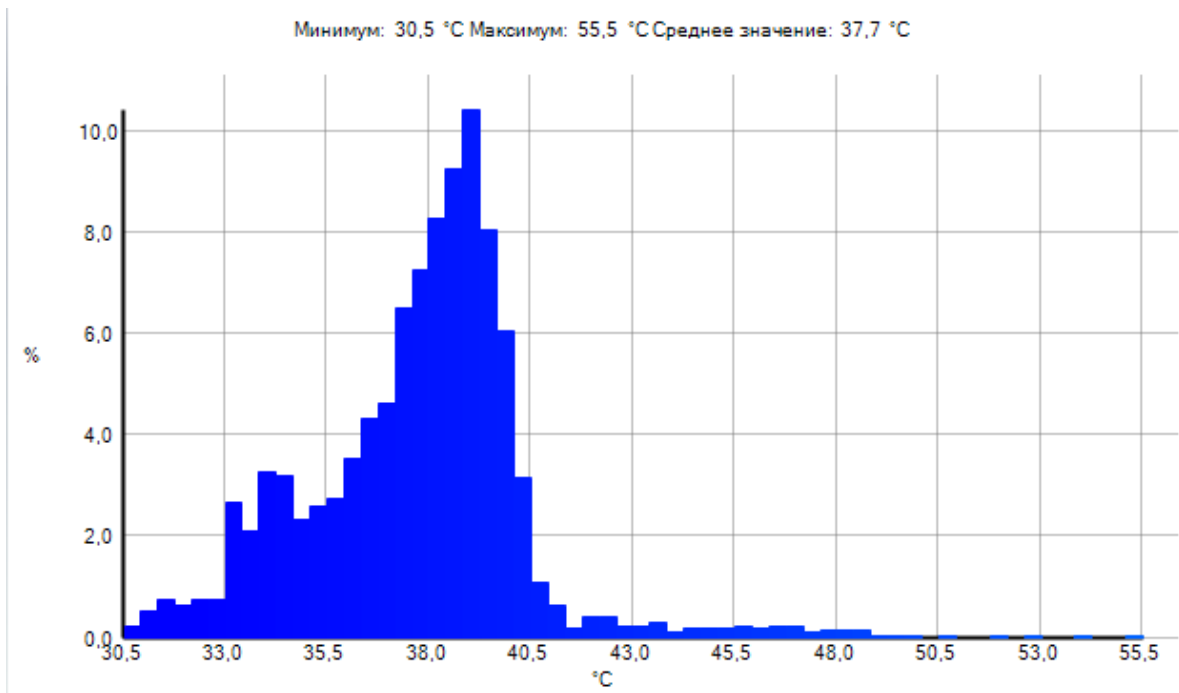
Таблица 12 – Результаты эксперимента при изменении влажности воздуха в камере (условие 4)

№ серии	Температура контакт-детали, $t_{\text{кд}}$, °С				
1 серия	29,1	28,7	28	28,3	28
2 серия	31,2	29,7	29	29,1	26,9
3 серия	29,3	30	29,3	29,8	30,9

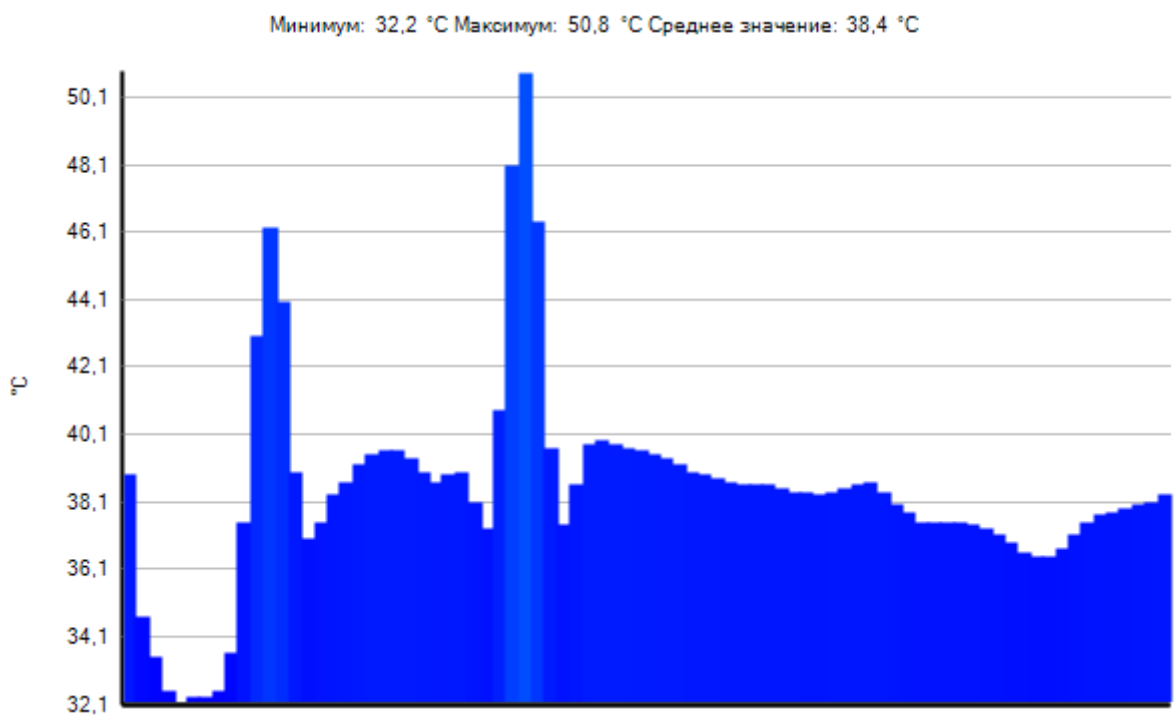
Таблица 13 – Результаты эксперимента при постоянной мощности на КС

№ серии	Температура контакт-детали, $t_{\text{кд}}$, °С			
1 серия	50,9	50,7	47,2	52,3
	33,7	32,7	31,2	33,3
	32,5	35,2	40,1	37,5
	43,1	35,1	37,1	36,1
	38,8	33,4	41,2	38,5
2 серия	27,9	27,8	27,5	27,3
	31,3	32,4	32,2	29,7
	29,7	32,9	31,8	31,3
	30,5	33,7	32,8	32,5
	31,9	34,1	33,4	33,8
3 серия	34,3	33,4	34,7	35,6
	37	37,5	40,8	41,2
	45,4	47	45,6	51
	51,8	55,4	56,1	59,8
	66,5	68,4	74,7	65,3

В программе обработки изображений IRSoft можно построить гистограмму и температурный профиль исследуемой области. Например, на рисунке 7.2 приведены гистограмма и температурный профиль поверхности контакт-детали при выполнении условия № 1 (температура в камере 50 °С).



а)



б)

Рисунок 7.2 – Результаты обработки термограмм:

- а) гистограмма распределения температуры на КС; б) температурное распределение выделенной области

С целью получения аналитических моделей строятся зависимости при различных приведенных выше условиях. Для условия 1 приводится график

зависимости температуры поверхности контакт-детали от температуры в камере (рис.7.3).

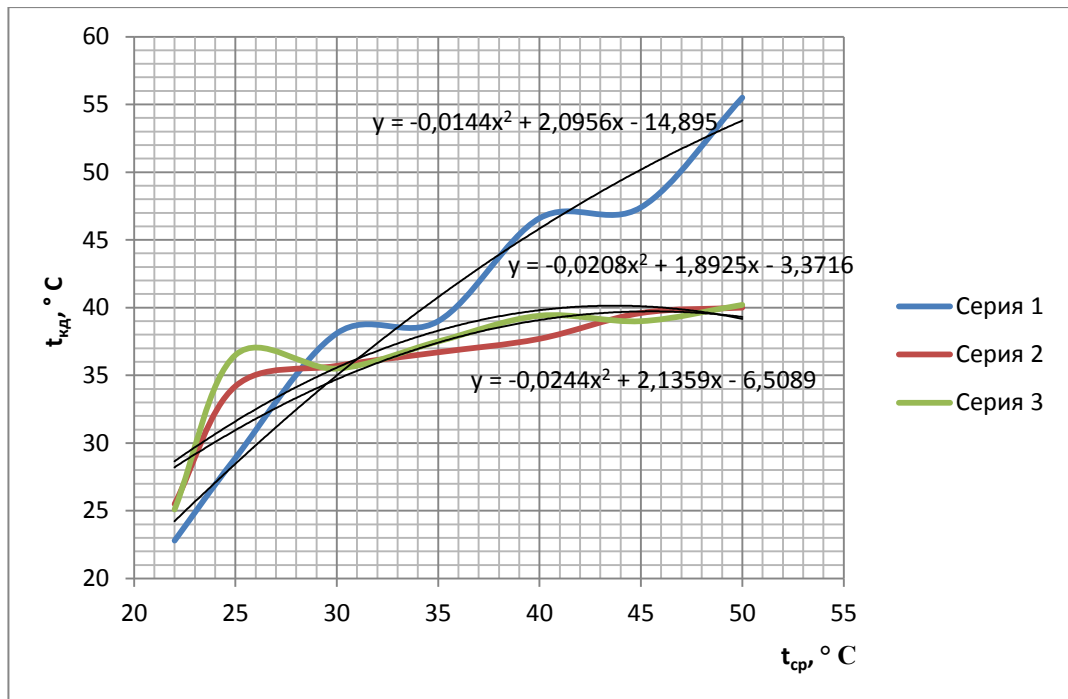


Рисунок 7.3 – Графики зависимостей температуры поверхности КС от температуры в камере и их аналитические выражения

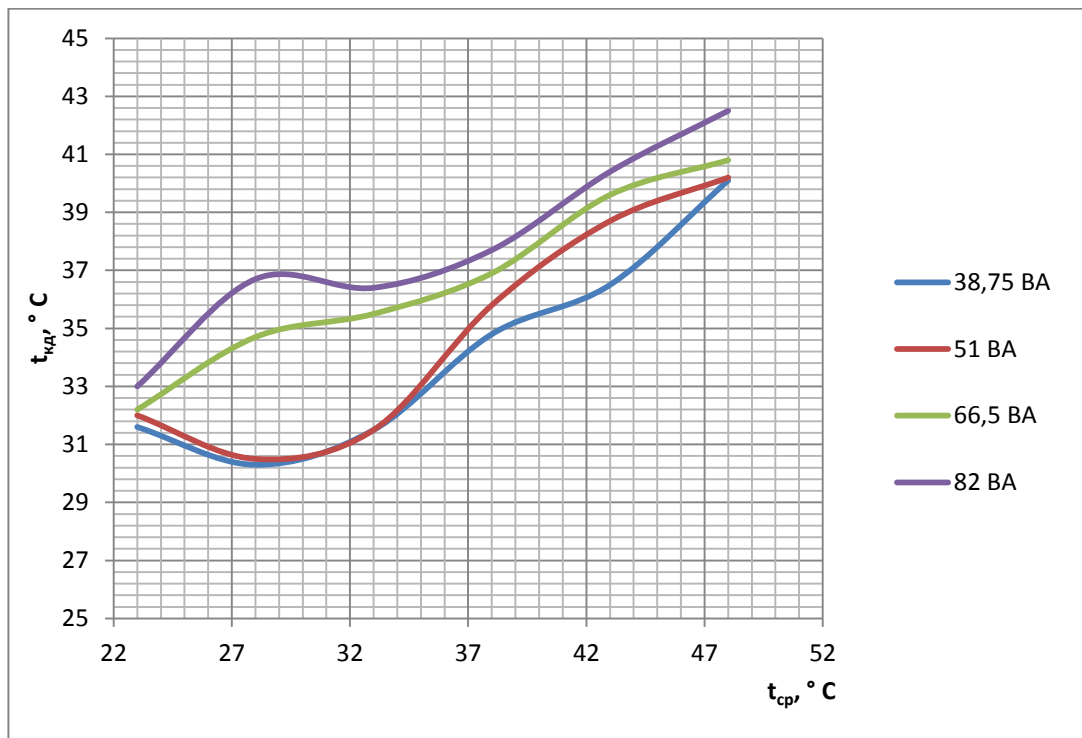


Рисунок 7.4 – Графики зависимостей температуры поверхности КС от температуры в камере при разных значениях мощности на КС

Аналитические выражения для каждого значения мощности на КС:

$$t_{\text{кд}} = 0,0189 \cdot t_{\text{ср}}^2 - 0,9759 \cdot t_{\text{ср}} + 43,544 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{кд}} = 0,0161 \cdot t_{\text{ср}}^2 - 0,7467 \cdot t_{\text{ср}} + 39,771 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{кд}} = 0,0008 \cdot t_{\text{ср}}^2 + 0,2819 \cdot t_{\text{ср}} + 25,561 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{кд}} = 0,0029 \cdot t_{\text{ср}}^2 + 0,1394 \cdot t_{\text{ср}} + 29,025 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Из рисунков 7.3 и 7.4 видно, что температура поверхности КС прямо пропорциональна температуре окружающей среды. При увеличении мощности на КС наблюдается рост температуры поверхности контакт-детали, как показано на рисунке 7.4, т.е. совместное воздействие температуры среды и мощности на КС приводят к нагреву объекта до 43 °С. В эксперименте 2 влияние только мощности на КС на объект не велико, наблюдается небольшое изменение температуры поверхности контакт-детали.

Известно, что повышенная влажность отрицательно влияет на состояние КС, что выражается в образовании оксидной пленки, увеличении сопротивления, нагреве КС. Однако, воздействие влажности активно при длительном процессе. При условии 4 (табл. 5) КС влиянию влажности подвергается не долговременно и максимальное значение относительной влажности равно 90 %, поэтому значительных изменений температуры поверхности КС не наблюдается (рис. 7.5, серия 1). Можно отметить, что с увеличением влажности в камере температура поверхности уменьшается, кроме серии 3. Это отклонение можно объяснить несколькими факторами, влияющими на результаты эксперимента: несовершенство экспериментальной установки, невнимательность участника, проводившего эксперимент.

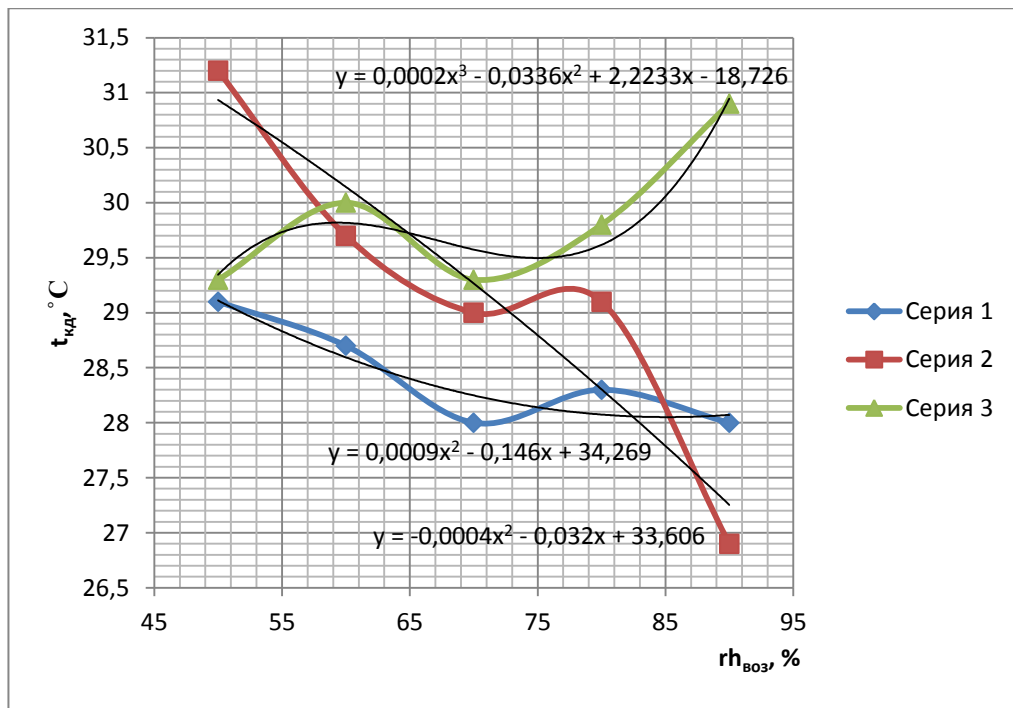


Рисунок 7.5 – Графики зависимостей температуры поверхности КС от относительной влажности в камере и их аналитические выражения

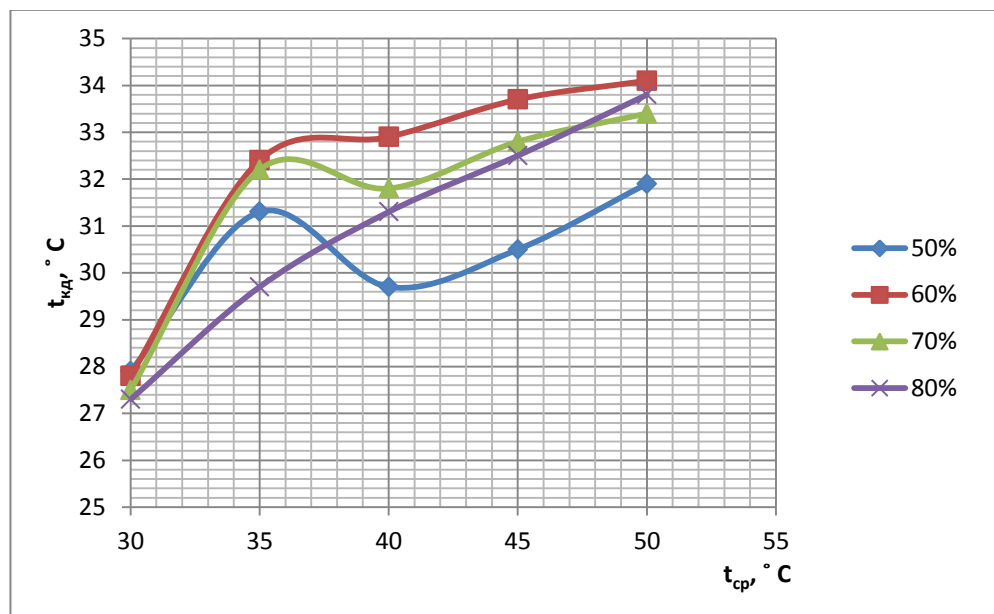


Рисунок 7.6 – Графики зависимостей температуры поверхности КС от температуры в камере при разных значениях относительной влажности воздуха и температуры в камере

Аналитические выражения для каждого значения относительной влажности:

$$t_{\text{кд}} = -0,0046 \cdot t_{\text{ср}}^2 + 0,5097 \cdot t_{\text{ср}} + 17,414 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{кд}} = -0,0231 \cdot t_{\text{ср}}^2 + 2,1294 \cdot t_{\text{ср}} - 14,811 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{кд}} = -0,0194 \cdot t_{\text{ср}}^2 + 1,8023 \cdot t_{\text{ср}} - 8,4943 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{кд}} = -0,0074 \cdot t_{\text{ср}}^2 + 0,9103 \cdot t_{\text{ср}} + 6,7657 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По рисунку 7.6 видно, что температура поверхности контакт-детали уменьшается по мере увеличения влажности воздуха в камере, однако, растет и температура в камере, поэтому наблюдается повышение температуры КС.

8 Прогностический расчет надежности контактного соединения

Для превентивного расчета надежности КС необходимо выбрать прогностическую модель. В качестве параметра надежности КС выбирается интенсивность отказов КС. В данной работе для прогностического расчета взяты следующие математические модели: мультипликативная [64] и уравнение Пека [65].

Мультипликативная модель прогнозирования интенсивности отказов кнопочных переключателей взята из справочника и имеет вид [64]:

$$\lambda_m = \lambda_{б.с.г} \cdot k_p \cdot k_{к.к} \cdot k_f \cdot k_э \cdot k_{пр}, \quad (8.1)$$

где λ_m - интенсивность отказов кнопочных переключателей, 1/ч;

$\lambda_{б.с.г}$ – исходная интенсивность отказов группы ЭРИ, приведенная к условиям: номинальная электрическая нагрузка при температуре среды $t_{окр} = 25$ °С, 1/ч;

k_p – коэффициент режима, зависящий от электрической нагрузки и температуры окружающей среды;

$k_{к.к}$ – коэффициент количества задействованных контактов;

k_f – коэффициент, зависящий от частоты включений в час;

$k_э$ – коэффициент жесткости условий эксплуатации по группам аппаратуры по ГОСТ В 20.39.304-98;

$k_{пр}$ – коэффициент приемки, отражает два уровня качества изготовления изделий: общего военного применения (ОВП) – приемка «5» и повышенной надежности (ОС) – приемка «9».

С использованием полученных в результате эксперимента аналитических уравнений и математической модели Пека можно рассчитать интенсивность отказов для каждого условия по нижеприведенным формулам.

Модель Пека выражается в виде:

$$\lambda_{II} = \left(\frac{r_{test}}{r_{use}}\right)^3 \cdot \lambda_A, \quad (8.2)$$

где λ_{II} – интенсивность отказов КС по модели Пека, 1/ч;

λ_A – интенсивность отказов, рассчитанная по модели Аррениуса, 1/ч;

rh_{test} – экспериментальная относительная влажность в камере, %;

rh_{use} – принятая в помещении относительная влажность, %.

Модель Аррениуса:

$$\lambda_A = C \cdot \exp\left(\frac{E_a}{k_B \cdot x(t_{среды})}\right), \quad (8.3)$$

где λ_A – интенсивность отказов КС по модели Аррениуса, 1/ч;

C – предэкспоненциальный множитель, 1/ч;

E_a – энергия активации меди, $E_a = 0,3$ эВ;

k_B – постоянная Больцмана, $k_B = 8,2 \cdot 10^{-5}$ эВ/К;

$x(t_{среды})$ – функция температуры контакт-детали.

Энергия активации меняется в диапазоне от 0,25 до 0,5 эВ в зависимости от толщины пленки в системе медь-никель [72].

Таблица 14 – Расчет интенсивности отказов КС по мультипликативной модели (8.1) при изменении температуры в камере (условие 1, таблица 5)

	Температура в камере, °С						
	22	25	30	35	40	45	50
Интенсивность отказов λ , 1/ч	-	0,0208	0,0254	0,0308	0,0374	0,0452	0,0546

Таблица 15 – Расчет интенсивности отказов КС по мультипликативной модели при изменении мощности на КС и при температуре в камере 25 °С (условие 2)

	Электрическая нагрузка I / I_{max}			
	0,72	0,79	0,88	0,95
Интенсивность отказов λ , 1/ч	0,0099	0,0116	0,0147	0,0183

Таблица 16 – Расчет интенсивности отказов КС по мультипликативной модели при постоянном значении относительной влажности в камере (условие 3)

	Мощность на КС, ВА	Температура в камере, °С					
		25	28	33	38	43	48
Интенсивность отказов λ , 1/ч	38,75	0,0099	0,0112	0,0136	0,0165	0,02	0,0242
	51	0,0116	0,0131	0,016	0,0194	0,0235	0,0284
	66,5	0,0147	0,0167	0,0204	0,0248	0,0301	0,0364
	82	0,0183	0,0207	0,0252	0,0306	0,0371	0,0448

Таблица 17 – Расчет интенсивности отказов КС по мультипликативной модели при постоянном значении мощности на КС (условие 5)

	Температура в камере, °С				
	30	35	40	45	50
Интенсивность отказов λ , 1/ч	0,0254	0,0308	0,0374	0,0452	0,0546

Для расчета интенсивности отказов по модели Пека необходимо вычислить предэкспоненциальный множитель С при температуре 25 °С:

$$C = \frac{\lambda}{\exp\left(-\frac{E_a}{k_B \cdot t_{\text{окр}}}\right)} = \frac{0,0208}{\exp\left(-\frac{0,3}{8,2 \cdot 10^{-5} \cdot 298}\right)} = 4465,6 \frac{1}{\text{ч}} \quad (8.4)$$

Таблица 18 – Расчет интенсивности отказов КС по модели Пека при изменяющейся температуре окружающей среды

Температура в камере,	Интенсивность отказов λ , 1/ч
22	0,0252
25	0,0260
30	0,0279
35	0,0305
40	0,0340
45	0,0386
50	0,0446
55	0,0522
60	0,0621
65	0,0747
70	0,0909

Для сравнения результатов расчета интенсивности отказов при условии изменяющейся температуры среды строится графическая зависимость (рис. 8.1).

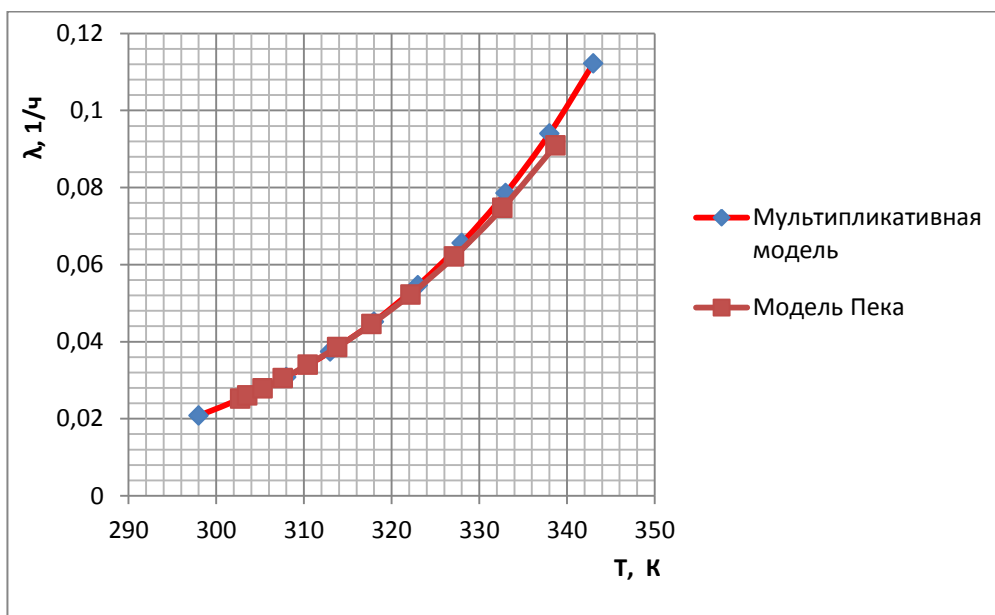


Рисунок 8.1 – Графики зависимостей интенсивности отказов от температуры по математическим моделям (мультипликативной и Пека)

По рисунку 8.1 можно сделать вывод, что интенсивности отказов, рассчитанные по справочной формуле (8.1) и по модели Пека (8.2), отличаются незначительно. Интенсивность отказов по мультипликативной модели начинает увеличиваться при достижении температуры среды в камере значения 55 °С.

Таблица 19 – Результаты расчета интенсивности отказов $\lambda_{П}$ (8.2) КС по модели Пека при постоянном значении относительной влажности в камере

Мощность на КС, ВА	Интенсивность отказов $\lambda_{П}$, 1/ч					
	0,0274	0,0267	0,0284	0,0319	0,0368	0,0423
38,75	0,0274	0,0267	0,0284	0,0319	0,0368	0,0423
51	0,0267	0,0272	0,0285	0,0308	0,0343	0,0393
66,5	0,0278	0,0304	0,0329	0,0352	0,0372	0,0389
82	0,0295	0,0312	0,0332	0,0354	0,0380	0,0409
101,25	0,0302	0,0334	0,0362	0,0385	0,0403	0,0414
120	0,0312	0,0353	0,0387	0,0411	0,0423	0,0423

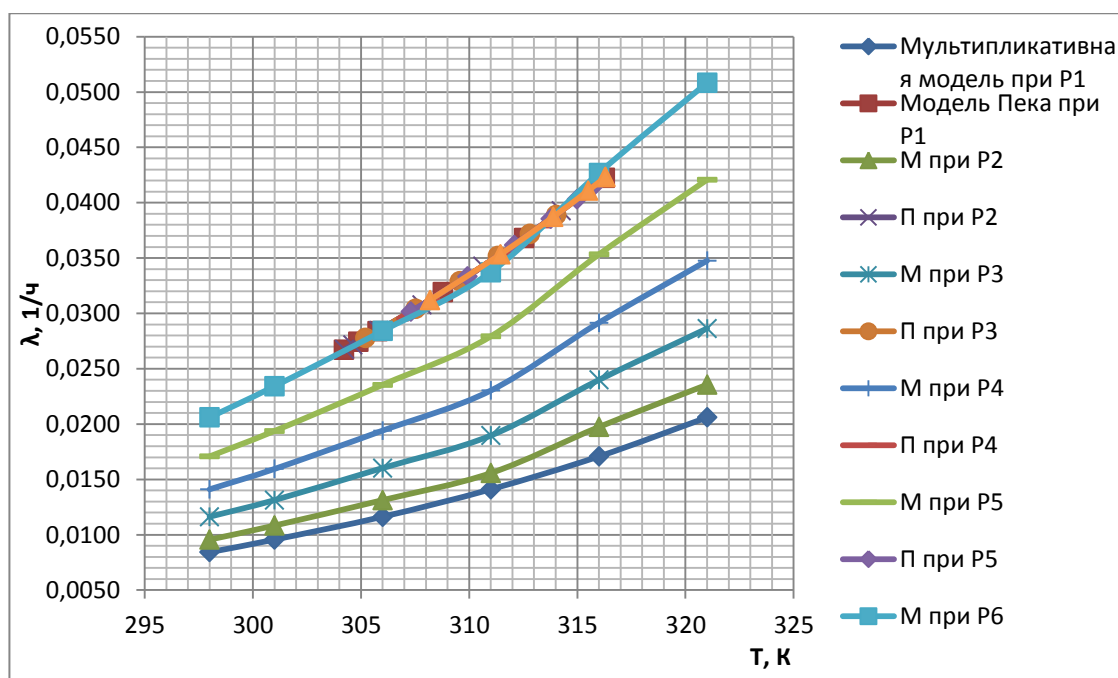


Рисунок 8.2 – Графики зависимостей интенсивности отказов от температуры по двум математическим моделям при разных значениях мощности на КС:

М – мультипликативная модель, П – модель Пека, P1...6 – значение мощности на КС

На рисунке 8.2 также видно несоответствие значений интенсивности отказа, рассчитанных по разным прогностическим моделям. При мощности на КС интенсивность отказов по мультипликативной модели принимает значения больше интенсивности отказов по модели Пека, что можно объяснить наличием коэффициента режима в мультипликативной модели.

При условии повышения влажности в камере результаты расчета приведены в таблице 20.

Таблица 20 - Результаты расчета интенсивности отказов $\lambda_{п}$ (8.2) КС по модели Пека при изменении значения относительной влажности в камере

	Интенсивность отказов $\lambda_{п}$, 1/ч				
	Серия 1	0,0482	0,0818	0,1283	0,1907
Серия 2	0,0518	0,0868	0,1333	0,1918	0,2623
Серия 3	0,0570	0,1125	0,2073	0,3801	0,7285

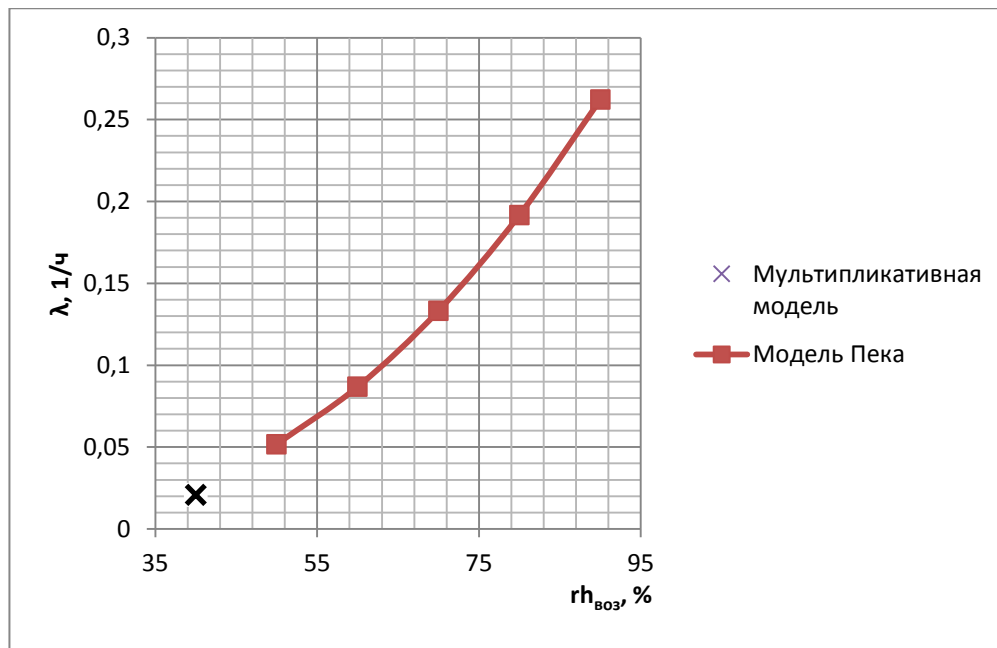


Рисунок 8.3 – График зависимости интенсивности отказов от относительной влажности воздуха в камере по двум математическим моделям

Вследствие того, что мультипликативная модель не учитывает влияние влажности, данные, полученные с помощью прогностических моделей, сравниваются с единственным значением $\lambda = 0,0208$ 1/ч при относительной влажности 40 % (рис.8.3). В данном случае интенсивность отказов по модели Пека при относительной влажности 50 % больше мультипликативной почти в 2 – 3 раза.

Для условия постоянного значения мощности результаты расчета интенсивности отказа приведены в таблице 21.

Таблица 21 - Результаты расчета интенсивности отказов $\lambda_{п}$ КС по модели Пека при постоянном значении мощности на КС

Температура в камере, °С		Интенсивность отказов λ_p , 1/ч				
		30	35	40	45	50
Относительная влажность, %	50	0,0470	0,0847	0,1389	0,2123	0,2154
	60	0,0464	0,0909	0,1561	0,2407	0,2376
	70	0,0461	0,0888	0,1510	0,2323	0,2305
	80	0,0448	0,0845	0,1439	0,2271	0,2365

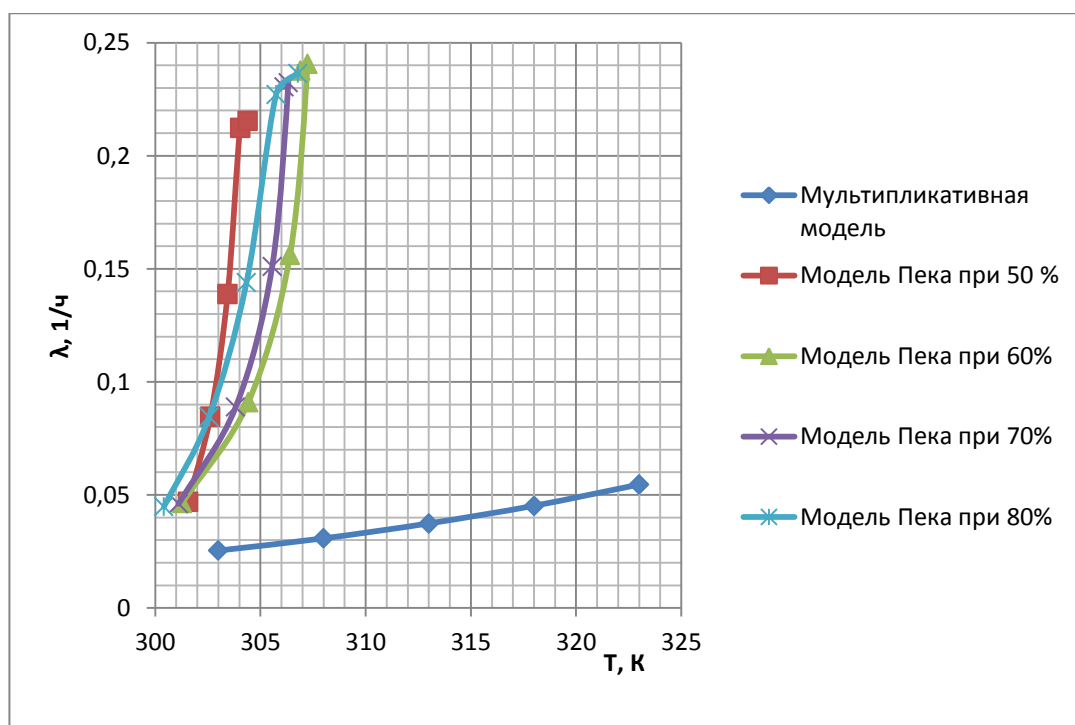


Рисунок 8.4 – Графики зависимостей интенсивности отказов от температуры по двум математическим моделям при разных значениях относительной влажности

По рисунку 8.4 видно, что интенсивность отказов по мультипликативной модели принимает меньшие значения по сравнению с интенсивностью отказов по модели Пека, предположительно из-за того, что мультипликативная модель не учитывает влияние влажности. По мере увеличения влажности растут значения интенсивности отказов, рассчитанных по модели Пека. Например, при относительной влажности в камере 50 % значение интенсивности возрастает в 4,5 раза при увеличении температуры в камере от 30 до 50 °С. В случае достижения влажности воздуха 80 % и при таком же изменении температуры в камере значение интенсивности возрастает почти в 5 раз.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5Д	Таханова Арчынай Анатольевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материальные затраты для проекта (КС) и затраты на специальное оборудование (приборы, датчики) зависят от цен, установленных предприятиями.
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные страховые фонды определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ исследования с точки зрения экономической выгоды. Конкурентные работы по данной тематике. SWOT-анализ. Оценка коммерциализации проекта.
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Организационная структура проекта (задачи). Линейный график. Расчет бюджета НИР. Расчет заработной платы участников проекта. Составление сметы затрат проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Таханова Арчынай Анатольевна		

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется, сколько не масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

9.1 Предпроектный анализ

Научные исследования в сфере энергетики всегда имеют актуальность, т.к. необходимо развивать технологии, методики для успешной безопасной эксплуатации энергетических систем. Каждый год в данной сфере выпускается множество научных работ по различным тематикам, часть из которых получает реализацию на практике.

Данная работа направлена на прогностическое моделирование надежности контактных соединений (КС) - элементов энергетического оборудования, что должно в перспективе дать возможность повысить надежность энергетической системы. В результате исследования предполагается провести прогностический расчет показателя надежности КС при помощи математической модели. Полученные данные в дальнейшем могут быть использованы в разработке автоматической системы прогностического моделирования любого энергетического элемента. Подобная автоматическая система позволила бы в режиме реального времени получать значения параметров окружающей среды, которые поступали бы на уровень оператора для использования в моделировании объекта и прогностическом расчете его надежности. По результатам моделирования объекта была бы возможность

выяснить приблизительное время его отказа, что позволило бы предпринять меры по устранению сбоя в работе системы. Это позволило бы предотвратить аварийные ситуации, следовательно сократить экономические затраты на устранение последствий при возникновении аварийных ситуаций.

Существует много работ, направленных на исследование надежности различного оборудования, входящего в энергетическую систему, к которым относятся такие ответственные и важные объекты, как трансформаторы, места соединения кабелей с шиной, автоматические выключатели, элементы печатных плат и т.д. [11], [12], [19], [20], [23], [51], [52], [53], [55]. Разработаны программные продукты, позволяющие проводить исследование надежности электрооборудования и электрических систем с применением аналитического и статистического инструментария при учете изменяющихся условий эксплуатации.

Исследуемая методика в дальнейшем при модернизации могла бы применяться на практике в крупных энергетических системах, например, на электрических и тепловых станциях, в системах, где необходим контроль состояния тех или иных объектов, подверженных нагреву в условиях окружающей среды. К таким можно отнести и промышленные предприятия, в которых также есть ответственные элементы, которые подвергаются воздействию параметров окружающей среды (температуре и влажности).

Данный исследовательский проект направлен на оценку температурного состояния КС с помощью тепловизора при создании разных условий окружающей среды, и с помощью полученных данных на проведение анализа надежности объекта посредством прогностического расчета по итогам его моделирования в специальном программном продукте. Таким образом, необходимо оценить проект с точки зрения выгоды более детальной и качественной реализации в дальнейшем.

SWOT-анализ – это один из самых распространенных видов анализа в стратегическом управлении на сегодняшний день. SWOT-анализ позволяет выявить и структурировать сильные и слабые стороны компании, а также

потенциальные возможности и угрозы. Достигается это за счет сравнения внутренних сил и слабостей своей компании с возможностями, которые дает им рынок.

Таблица 22 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Экологичность</p> <p>С2. Более низкая стоимость установки по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск</p> <p>В3. Появление спроса на новый продукт</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые продукт</p> <p>У2. Развитая конкуренция новому продукту</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии</p>		
<p>Обозначения, принятые в табл. 22: С – сильные стороны, Сл – слабые стороны, В – возможности, У – угрозы</p>		

Необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 23 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	-	0	+	+
	B2	+	+	+	0
	B3	+	+	0	-
	B4	-	+	+	0

Анализ интерактивной таблицы позволяет судить о том, что сильные стороны имеют сильное соответствие возможностям проекта, и представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B2C1C2C3; B1C3C4.

Составляется итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 24).

Таблица 24 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: C1. Экологичность C2. Более низкая стоимость установки по сравнению с другими технологиями C3. Наличие бюджетного финансирования C4. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>
<p>Возможности: B1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ B2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск B3. Появление спроса на новый продукт B4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований</p>	<p>Разработка прогностической модели надежности для оценки финансовой устойчивости с целью получения готового продукта с конкурентными преимуществами</p>	<p>Более детальная работа над проектом. Увеличение числа объектов. Разработка автоматической системы. Возможность апробации.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новый продукт У2. Развитая конкуренция новому продукту У3. Ограничения на экспорт технологии</p>	<p>Сертификация продукта. Укрепление конкурентных преимуществ продукта.</p>	<p>Конкретизация на одном сегменте рынка. Повышение конкурентных преимуществ продукта.</p>

9.2 Возможность коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации. Коммерциализация результатов научных исследований представляет собой процесс вовлечения их в экономический (коммерческий) оборот в различных сегментах национального и глобального рынков. Для этого они должны быть трансформированы таким образом, чтобы этот интеллектуальный продукт был востребован экономикой, имел спрос.

Для оценки необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 25 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2. Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	1	1
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	1
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9. Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10. Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11. Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12. Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1

Продолжение таблицы 25

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
13. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14. Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15. Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	21	19

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле [66]:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (9.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таким образом, полученные значения лежат в пределах 29 – 15, что говорит о перспективности коммерциализации ниже среднего. Поэтому для получения показателей перспективного внедрения результатов исследования на рынок необходимо выполнить ряд действий: проведение экспериментов для большего числа элементов, разработка их прогностических моделей надежности, разработка автоматической системы для измерения необходимых параметров и моделирования надежности, апробация конечного продукта исследования.

9.3 Инициация проекта

9.3.1 Организационная структура проекта

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1. Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	1. Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	2. Календарное планирование работ по теме	Инженер
	3. Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель и инженер
Моделирование и анализ результатов	1. Моделирование в программе	Инженер
	2. Анализ результатов экспериментов	Инженер
	3. Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Другие разделы	1. Техничко-экономическое обоснование проекта	Консультант и инженер
	2. Анализ безопасности и экологичности проекта	Консультант и инженер
Оформление отчета по НИР	1. Составление пояснительной записки	Инженер
	2. Составление презентации	Инженер

9.3.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 27 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	1.02.2017
Дата завершения проекта	20.05.2017
Прочие ограничения и допущения	Использование тепловизора ограничено

9.3.3 Планирование графика проведения научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Нормативная трудоемкость научного руководителя составляет 30 часов, консультанта 2 часа.

Линейный график представляется в виде таблицы 28.

Таблица 28 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, часы	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО)
1	Составление и утверждение технического задания	1	11.02	11.02	Кравченко Е.В., Таханова А.А.
2	Подбор и изучение материалов по теме	2 100	13.02	22.02	Кравченко Е.В., Таханова А.А.
3	Календарное планирование работ по теме	1	23.02	23.02	Таханова А.А.
4	Моделирование в программе	56 2	25.02	4.03	Кравченко Е.В., Таханова А.А.
5	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	5 360	7.03	22.04	Таханова А.А.
6	Анализ результатов экспериментов	24	24.04	29.04	Таханова А.А., Кравченко Е.В.
7	Оценка эффективности полученных результатов	24	1.05	3.05	Таханова А.А.
8	Технико-экономическое обоснование проекта	2 24	4.05	8.05	Попова С.Н., Таханова А.А.
9	Анализ безопасности и экологичности проекта	2 24	9.05	11.05	Василевский М.В., Таханова А.А.
10	Составление пояснительной записки	32 5	12.05	16.05	Таханова А.А., Кравченко Е.В.
11	Составление презентации	16	17.05	18.05	Таханова А.А.
Итого:		680			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (9.2)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 40 - 13} = 1,17, \quad (9.3)$$

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.

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

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания диссертационной работы (табл. 29).

Таблица 29 – Календарный план-график проведения НИР

Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. час	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	Научный руководитель и инженер	1															
2. Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и инженер	2 117															
3. Календарное планирование работ по теме	Инженер	1															

Продолжение таблицы 29

Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. час	Продолжительность выполнения работ														
			февр.		март			апрель			май			июнь			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
4. Моделирование в программе	Научный руководитель и инженер	65 2		■													
5. Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель и инженер	5 421			■	■	■	■	■								
6. Анализ результатов экспериментов	Инженер	28									■						
7. Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	28									■						
8. Техничко-экономическое обоснование проекта	Консультант и инженер	2 28										■					
9. Анализ безопасности и экологичности проекта	Консультант и инженер	2 28										■					
10. Составление пояснительной записки	Инженер	37 5											■				
11. Составление презентации	Инженер	18												■			

9.3.4 Определение трудоемкости работ

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

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (9.4)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-часы;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-часы;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-часы.

Таблица 30 – Трудоемкость выполнения работ

Название работ	t _{min} , чел-часы		t _{max} , чел-часы		t _{ож} , чел-часы	
	Научный руководитель	Инженер	Научный руководитель	Инженер	Научный руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
Подбор и изучение материалов по теме	1	90	2	100	1,4	94
Календарное планирование работ по теме	-	1	-	1,5	-	1,2
Моделирование в программе	1	48	2	56	1,4	51,2
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	4	340	5	360	4,4	348
Анализ результатов экспериментов	-	16	-	24	-	19,2
Оценка эффективности полученных результатов	-	20	-	28	-	23,2
Технико-экономическое обоснование проекта	-	20	-	28	1,4	23,2

Продолжение таблицы 30

Название работ	t _{min} , чел-часы		t _{max} , чел-часы		t _{ож} , чел-часы	
	Научный руководитель	Инженер	Научный руководитель	Инженер	Научный руководитель	Инженер
Анализ безопасности и экологичности проекта	-	20	-	28	1,4	23,2
Составление пояснительной записки	4	24	5	32	4,4	27,2
Составление презентации	-	8	-	16	-	12,8

9.3.5 Бюджет НИРМ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и

т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 31.

Таблица 31 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Выключатель	Хит	1	43	43
Галогенная лампочка	Feron, Navigator	2	59,9	119,8
Итого по статье C_{M1}				162,8

Все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме, приведены в таблице 32. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 32 – Затраты на специальное оборудование

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.
Лабораторный трансформатор	1	2119
Мультиметр	1	1399
Тепловизор	1	500000
Датчик влажности и температуры	1	6872
Термометр контактный показывающий	1	4000
Увлажнитель воздуха	1	1319
Итого по статье C_{M2}		515709

Итого затраты по всем статьям: $Z_M = C_{M1} + C_{M2} = 515871,8$ руб.

9.3.6 Основная заработная плата

В настоящую статью включается 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.

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{б}} \cdot t_{\text{ож}i}, \quad (9.5)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$t_{\text{ож}i}$ – трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-часы.

Таблица 33 – Расчет заработной платы

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-час.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-часы., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	1	300	300
Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и инженер	1,4; 94	300 175	420 16450
Календарное планирование работ по теме	Инженер	1,2	175	210
Моделирование в программе	Научный руководитель и инженер	1,4; 51,2	300 175	420 8960
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель и инженер	4,4; 348	300 175	1320 61075

Продолжение таблицы 33

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-час.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-часы., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
Анализ результатов экспериментов	Инженер	19,2	175	3360
Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	23,2	175	4060
Технико-экономическое обоснование проекта	Консультант и инженер	1,4; 23,2	300 175	420 4060
Анализ безопасности и экологичности проекта	Консультант и инженер	1,4; 23,2	300 175	420 4060
Составление пояснительной записки	Научный руководитель и инженер	4,4; 27,2	300 175	1320 4760
Составление презентации	Научный руководитель и инженер	1; 12,8	300 175	300 2240
Итого:				114155

Базовый оклад Z_6 определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия. Размер окладов ППС и НС ТПУ представлен на корпоративном портале ТПУ: <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents>.

9.3.7 Отчисления на социальные нужды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления 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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{зп}} = 0,271 \cdot 114155 = 30936 \text{ руб.}, \quad (9.6)$$

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

На 2014 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 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

9.3.8 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}} = 660962,8 \cdot 0,16 = 105754 \text{ руб.}, \quad (9.7)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [65].

Рассчитанная величина затрат на работы по созданию автоматизированной системы является основой для формирования сметы затрат проекта.

Таблица 34 – Расчет сметы затрат на проект

Название статьи	Сумма, руб.
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	162,8
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	515709
Заработная плата	114155
Отчисления на социальные нужды	30936
Накладные расходы	105754
Итого плановая себестоимость	766716,8

Таким образом, наибольшие затраты из всех статей представлены специальным оборудованием, в частности стоимостью тепловизора.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5Д	Таханова Арчынай Анатольевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	АТП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Прогностическое моделирование надежности элементов энергетических установок. Электроконтактные соединения присутствуют во многих технических системах, в том числе и в теплотехнических, и являются одним из важных элементов. Диагностика и мониторинг состояния электрических контактов позволит своевременно обнаружить дефектную работу КС для предотвращения сбоев в работе системы. Цель данной работы моделирование КС в программном продукте ANSYS и с использованием математических моделей провести прогностический расчет надежности КС. Проведение эксперимента необходимо для верификации смоделированных данных.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды.</p> <p>1.2. Анализ выявленных вредных и опасных факторов при разработке проектируемого решения.</p>	<p>1.1 Электроопасность: искрение, электрическая дуга, напряжение, пожар. Опасность в производстве электроэнергии.</p> <p>1.2 Воздействие электромагнитных излучений от компьютеров. Отклонение показателей микроклимата. Недостаточный уровень освещенности. Превышение уровней шума. Влияние монитора компьютера на зрение. Влияние работы с компьютером на психическое состояние оператора. Влияние работы компьютера на ионизацию воздуха в рабочей зоне. Тепловое излучение от прожектора, выступающего в роли теплового источника, воздействующего на объект исследования. Поражение электрическим током. Опасность возникновения пожароопасной ситуации в аудитории.</p>
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>Воздействие на литосферу бытовых отходов. Воздействия на атмосферу и гидросферу при изоляции от последнего не наблюдается. Утилизация, складирование и переработка бытовых отходов.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможность возникновения пожароопасной ситуации при аварии на объекте, возникшей в результате природного явления как землетрясение, человеческого фактора или технических причин. Соблюдение правил безопасности, наблюдение за действиями персонала, использование материалов без повреждений и дефектов. Наличие запасных выходов. Оснащенность рабочего места системой противопожарной защиты. Изучение правил поведения при возникновении ЧС. Следование плану эвакуации в ходе учебных мероприятий.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>Общие требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Таханова Арчынай Анатольевна		

10 Социальная ответственность

Введение

В наши дни актуальна проблема экологии и нравственности, сейчас многое делается для того, чтобы сохранить природу. Бурный рост населения земного шара, интенсивное развитие техники во много раз увеличили потребление различных природных ресурсов, степень воздействия человека на природу. Поэтому серьезной проблемой стали вопросы возможного и к тому же быстрого истощения запасов полезных ископаемых, пресной воды, ресурсов растительного и животного мира, загрязнение природной среды. Все это заставляет человечество обратить особое внимание на охрану природы, в особенности в промышленной среде. Очень актуален в данном вопросе термин «Социальная ответственность», ведь многосторонний характер деятельности человека порождает различные виды ответственности: за техническое состояние какого-либо объекта, за сохранность флоры и фауны на закрепленной территории, за результаты деятельности подчиненных людей и т.д. Иначе, под социальной ответственностью понимается объективная необходимость отвечать за нарушение социальных норм. ГОСТ Р ИСО 26000-2012 представляет руководство по принципам, лежащим в основе социальной ответственности, признанию социальной ответственности и взаимодействию с заинтересованными сторонами, основным темам и проблемам, касающимся социальной ответственности, и способам интеграции социально ответственного поведения в организацию.

Производство различных видов оборудования, их эксплуатация несут долю воздействия на окружающую среду. Таким образом, данная работа также направлена на сокращение сбоев в энергетических оборудования и системах, что уменьшит влияние на состояние природной среды.

Надежность является основным параметром оценки состояния объекта или системы. Прогнозирование параметров надежности объекта дает преимущества в сохранении и поддержании производственных и

экономических ресурсов, что выражается в предотвращении сбоев в работе объекта или системы, незапланированных простоев путем замены или ремонта элементов с дефектами.

Целью работы является создание модели КС и прогностический расчет его ресурса, и с помощью полученных результатов иметь возможность его замены при достижении им предельного состояния.

Раздел «Социальная ответственность» должен раскрыть следующие задачи:

- опасность электроэнергетических систем;
- надежность КС;
- описание рабочего места работника на предмет возникновения вредных и опасных факторов;
- анализ выявленных факторов и защита от них;
- охрана окружающей среды;
- защита в чрезвычайных ситуациях.

Рабочая зона в аудитории с различными экспериментальными установками и компьютерами. Освещение осуществляется от четырех источников, комната светлых тонов. Температура поддерживается естественным путем через дверь и окно при необходимости проветрить помещение, и системой отопления при необходимости повысить температуру в аудитории. Система вентиляции отсутствует.

10.1 Техногенная безопасность

Промышленное помещение производства выключателей и аналогичных элементов представляет собой скопление множества оборудования, электрических сетей, инструментов, некоторые из которых могут нести угрозу жизнедеятельности персонала и вредное или опасное воздействие на окружающую среду. Производство выключателей, как и любое другое промышленное производство, имеет свои опасные и вредные факторы,

влияющие на природную среду и на человека. Это могут быть механические травмы, электротравмы, нервное напряжение от монотонных действий и др.

Объектом исследования является контактное соединение. Работа с любым элементом, связанным с электричеством, несет опасность для жизнедеятельности или экологической безопасности.

При размыкании электрической цепи возникает электрический разряд в виде электрической дуги.

Работа КС, входящих в состав электроэнергетической системы, также представляет набор рисков в случае отказа КС. Поэтому, важное значение имеют проблемы обеспечения энергетической безопасности таких систем, в частности, повышение надежности и пожаробезопасности электроустановок. Следует отметить, что, по данным МЧС России, большинство возгораний промышленных объектов происходит по вине электроустановок; в свою очередь, половина пожаров обусловлена контактными соединениями в этих установках. Достаточно напомнить, что причиной двух крупнейших пожаров: на Останкинской телебашне и на подстанции Васильевского острова в Санкт-Петербурге, явилась неисправность электрических контактов [67]. Риски обусловлены возникновением различных процессов, которые приводят к появлению дефектов, а затем и отказу, что может быть причиной более опасной ситуации – пожара.

При значительных напряжениях и токах во время размыкания электрической цепи, между расходящимися контактами, образуется электрический разряд. В это же время, в площадке контактирования, при расхождении контактов происходит резкий рост переходного сопротивления и разогрев контактов до их расплавления и образования контактного перешейка из расплавленного металла. При значительных напряжениях и токах температура внутри дуги может достигать 3 - 15 тыс. °С. Воздействие электрической дуги может быть причиной получения человеком дуговых травм, например, внешних ожогов кожи, повреждений слуха и зрения и др.

В результате высокой температуры, контакты могут разогреваться и рваться, при этом металл контактов испаряется, а между контактами образуется ионизирующий проводящий воздушный промежуток, в котором под воздействием высокого напряжения, возникает электрическая дуга, которая снижает быстродействие коммутационного аппарата и способствует дальнейшему разрушению контактов. Чтобы прекратить появление дуги, нужно увеличить сопротивление в цепи с помощью увеличения расстояния между контактами, или применить специальные меры для ее погашения.

В маломощных электрических аппаратах электрическая дуга на контактах появляется редко, но очень часто происходит опасное для чувствительных аппаратов искрение или пробой изоляционного промежутка. Пробой образуется в слабых цепях во время быстрого размыкания контактов и может привести к ложным отключениям и значительно сокращает срок службы контактов. С целью уменьшения искрения, применяются устройства искрогашения.

Меры уменьшения и предотвращения электрической дуги и искрения направлены также и на предотвращение пожароопасных ситуаций. Кроме того, необходимы действия, направленные на устранение пожара в случае его возникновения – разработка эффективной системы пожаротушения.

Диагностика и мониторинг состояния электрических контактов позволит своевременно обнаружить дефектную работу КС для предотвращения сбоев в работе системы. Таким образом, в крупных энергетических системах осуществляется мониторинг состояния КС во время их эксплуатации тем или иным способом. В меру доступности распространены такие способы, как тепловизионный мониторинг или визуальный контроль температуры, выполняемый дистанционными электротермометрами или различными индикаторами. Индикаторы в основном представлены термоиндикаторами, которые при достижении определенной температуры резко изменяют свой цвет в результате химического взаимодействия компонентов. Изготавливаются они в

виде наклеек необходимого размера с разным диапазоном температур (от 40 до 260 °С).

В рабочей зоне согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ могут быть следующие вредные и опасные факторы:

- микроклиматические условия;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- повышенный уровень шума;
- зрительное напряжение;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- поражение электрическим током;
- возникновение пожароопасных ситуаций.

10.1.1 Микроклиматические условия

Для обеспечения надежной и долгой работы КС следует соблюдать условия их эксплуатации. Однако в производственных помещениях поддерживать необходимые условия бывает затруднительно. Одним из таких условий является микроклимат (температура и влажность).

При эксплуатации КС (выключателя) температура окружающей среды должна быть в пределах от +5 °С до +40 °С, относительная влажность воздуха составляет 60 %.

Высокая температура приводит к нагреву поверхностей КС, что может привести к преждевременному возникновению дефекта и в последующем к отказу. Высокая влажность воздуха влияет на физико-механические свойства и параметры материала контакт – деталей, что проявляется в изменении их удельного электрического сопротивления.

10.1.2 Производственное освещение

Правильная освещенность рабочего места является важным шагом в его обустройстве. При этом повышается производительность труда, снижается утомляемость.

Требуемый уровень освещенности определяется степенью точности зрительных работ. При выполнении работ требуется наблюдать наименьший размер объекта различения - 1-5 мм. В соответствии с СНиП 23-05-95 эти условия зрительной работы соответствуют V разряду (работы средней точности), а необходимая освещенность рабочего места – 200 или 300 Лк.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Естественное освещение бывает следующих типов: боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое). Искусственное освещение делится на рабочее и аварийное. Искусственное освещение может быть общим (все помещения освещаются однотипными светильниками) и комбинированным (к общему добавляется местное освещение рабочих мест).

Основной величиной для расчета и нормирования естественного освещения внутри помещений служит коэффициент естественной освещенности (КЕО), выраженного в процентах.

В СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 приведены нормативные показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения основных помещений общественного здания.

Для рациональной организации освещения и повышения видимости производственные помещения и оборудование целесообразно окрашивать в светлые тона.

Превышение световых норм может также привести к ослеплению. Если причиной этого может послужить естественный свет, следует использовать шторы или жалюзи на окнах. Если искусственный, то следует использовать затемняющие светофильтры на источниках света.

Слабое освещение приводит к напряжению глаз, что при длительном воздействии ведет к ухудшению зрения. Также возникает головная боль, нервное напряжение. Для предотвращения этого необходимо применять местное освещение.

Освещенность помещения рассчитывается по следующей формуле [68]:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta \cdot n}, \quad (10.1)$$

где $\Phi_{л}$ – световой поток лампы, Лм;

$E_{н}$ – норма освещенности, Лк;

S – площадь помещения, м²;

k – коэффициент запаса;

z – поправочный коэффициент (коэффициент неравномерности);

N – число принятых светильников;

η – коэффициент использования светового потока;

n – число ламп в светильнике.

Площадь помещения

$$S = a \cdot b, \quad (10.2)$$

где a – длина, $a = 5,5$ м;

b – ширина помещения, $b = 2,8$ м.

Тогда $S = 15,4$ м².

Коэффициент запаса (зависит от типа ламп и степени загрязненности помещения). В аудитории используются люминесцентные лампы, поэтому $k = 1,1$.

Поправочный коэффициент следует применять в помещениях, где планируется выполнение точной зрительной работы, например, читать или писать. Для ламп накаливания и ДРЛ (ртутная газоразрядная лампа) $z = 1,15$, для люминесцентных и светодиодных ламп $z = 1,1$.

Освещать комнату будут четыре светильника. Тогда $N = 4$.

Для того что бы найти коэффициент использования светового потока нам потребуется рассчитать индекс помещения i и предполагаемые коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка $r_{п}$, стен $r_{с}$, пола $r_{р}$.

Воспользуемся следующей формулой [69]:

$$i = S / ((a + b) \cdot h), \quad (10.3)$$


где h - высота подвеса светильника от пола, $h = 2,5$ м.

Тогда $i = 15,4 / ((5,5 + 2,8) \cdot 2,5) = 0,7$.

Для аудитории: $r_{п} = 50 \%$, $r_{с} = 50 \%$, $r_{р} = 10 \%$.

Коэффициент η может быть определен из таблицы 35 [69].

Таблица 35 – Коэффициент использования для потолочного светильника

									
70	Белый								
50	Светлый								
30	Серый								
10	Темный	Р – коэффициент отражения							
Потолок		70		50		30		i	
Стены		50		30		10			
Пол		30	10	30	10	10	10		
		0.26	0.25	0.2	0.19	0.17	0.13	0.6	0.5
		0.3	0.28	0.24	0.23	0.2	0.16	0.8	0.6
		0.34	0.32	0.28	0.27	0.22	0.19	0.1	0.7
		0.38	0.36	0.31	0.3	0.24	0.21	0.11	0.8
		0.4	0.38	0.34	0.33	0.26	0.23	0.12	0.9
		0.43	0.41	0.37	0.35	0.28	0.25	0.13	1
		0.46	0.43	0.39	0.37	0.3	0.26	0.14	1.1
		0.48	0.46	0.42	0.4	0.32	0.28	0.15	1.25
		0.54	0.49	0.47	0.44	0.34	0.31	0.17	1.5
		0.57	0.52	0.51	0.47	0.36	0.33	0.18	1.75
		0.6	0.54	0.54	0.5	0.38	0.35	0.19	2
		0.62	0.56	0.57	0.52	0.39	0.37	0.2	2.25
		0.64	0.58	0.59	0.54	0.4	0.38	0.21	2.5
		0.68	0.6	0.63	0.57	0.42	0.4	0.22	3
		0.7	0.62	0.66	0.59	0.43	0.41	0.23	3.5
		0.72	0.64	0.68	0.61	0.45	0.42	0.24	4
		0.75	0.66	0.72	0.64	0.46	0.44	0.25	5

Таким образом, $\eta = 0,22$.

Число ламп в светильнике $n = 4$.

В формулу 10.1 вставляются полученные значения:

$$\Phi_{л} = (200 \cdot 15,4 \cdot 1,1 \cdot 1,1) / (4 \cdot 0,22 \cdot 4) = 1059 \text{ Лм.}$$

Из стандартного ряда выбираем близкое к полученному значение светового потока, тогда $\Phi_{л} = 1200 \text{ Лм}$ [70].

Каждая лампа каждого светильника должна быть мощностью 25 - 30 Вт.

10.1.3 Уровень шума

Нахождение в помещении нескольких компьютеров может повысить установленный уровень шума. Уровни шума на рабочих местах пользователей

персональных компьютеров не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 и составляют не более 50 дБА.

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Также можно вовремя проводить чистку от пыли вентиляционной системы блоков питания компьютеров.

10.1.4 Зрительное напряжение

Зрительное напряжение — это симптом, который проявляется, когда человек долго перенапрягает глаза, работая за компьютером.

Зрительное напряжение может включать в себя одно или несколько следующих недомоганий:

- боль вокруг глаз, которая может распространяться на шею и голову;
- сухость и покраснение глаз;
- утомление глаз;
- чрезмерная чувствительность к свету;
- головная боль;
- размытое или нечеткое зрение;
- двоение в глазах.

Основные три причины зрительного напряжения: неэргономичное рабочее место, плохое освещение и ненадлежащий уход за глазами.

Есть несколько способов, позволяющие уменьшить зрительную нагрузку: соблюдать расстояние от экрана 60-65 см (на расстоянии вытянутой руки); уменьшать ослепляющий эффект экрана, увеличивая освещенность в помещении; предпринимать регулярные перерывы при длительной работе с компьютером; использовать специальные очки.

10.1.5 Уровень электромагнитных излучений

Основным источником электромагнитного излучения является монитор компьютера.

В случае нахождения источника излучения в непосредственной близости от человека, возможны патологические изменения в органах зрения, нарушение обмена веществ.

Требования к организации рабочего места и ПВЭМ приведены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

В табл. 36 в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 приведены предельно допустимые нормы электромагнитного поля (ЭМП).

Таблица 36 – Временно допустимые уровни (ВДУ) ЭМП

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

В качестве защитных мер от ЭМП можно назвать регулярные прогулки на свежем воздухе, проветривание помещения, занятия спортом, соблюдение правил работы за компьютером, работа с техникой, которая удовлетворяет существующим стандартам безопасности и санитарным нормам.

10.1.6 Поражение электрическим током

Основными причинами воздействия тока на человека являются случайные приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции.

ГОСТ 12.1. 038-82 ССБТ устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов.

В данной работе существует риск поражения электрическим током по причине взаимодействия с неизолированным электрическим контактом, через который проходит напряжение 220 В от лабораторного трансформатора. Однако внимательность и соблюдение требований безопасного поведения с объектами, содержащими электрический ток, должно предотвратить возникновение опасной ситуации.

Безопасность при работе с установками, от которых есть возможность поражения электрическим током, обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Технические средства защиты от поражения электрическим током делятся на коллективные и индивидуальные.

Коллективные средства в помещении: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль, применение малых напряжений, защитное заземление, защитное отключение, инструктаж по соблюдению требований безопасности персонала и соблюдение требований работы с электронными устройствами.

Индивидуальные средства защиты в этом случае не требуются.

10.1.7 Возникновение пожароопасных ситуаций

Пожароопасная ситуация на рабочем месте может возникнуть в результате короткого замыкания проводов, неисправности компьютера, не соблюдения требований безопасности.

В ППБ 01–03 приведен список правил для научных учреждений и учебных заведений.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Для предотвращения внезапно возникшего очага несанкционированного горения (очага пожара в начальной стадии его развития) необходимо обеспечить помещение системой противопожарной защиты и разместить в помещении первичные средства пожаротушения.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты.

10.2 Экологическая безопасность

Самым распространенным вредным воздействием на окружающую среду можно считать сброс отходов различного происхождения, состава и агрегатного состояния. В данной работе проводится анализ влияния на экологию именно бытовых отходов в литосферу и мер по его защите от отходов.

Бытовые отходы представляют собой устаревшую или сломанную технику, соединительные устройства (кабели, провода), изделия из различных металлов и пластика, которые не разлагаются и выделяют, находясь в почве, вредные для окружающей среды и людей вещества.

Повышение надежности КС позволит увеличить работу энергетического оборудования и системы, что значительно уменьшит их воздействие на окружающую среду при или после наступления сбоев в их работе.

Бытовые отходы предполагается складировать, утилизировать и перерабатывать.

В случае крупных аварий энергетических систем, произошедших из-за неисправных КС, возникает опасность выбросов вредных веществ в атмосферу и гидросферу. Продукты отработки и переработки попадают в водные и воздушные бассейны, происходит ухудшение условий обитания и жизнедеятельности людей, возникает опасность радиационного ущерба здоровью людей и окружающей среды.

10.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возникновение ЧС может быть обусловлено различными факторами. ЧС по происхождению бывают [71]:

- техногенного характера - крупная авария на техногенном объекте, влекущая за собой массовую гибель людей и даже экологическую катастрофу;
- природного характера - обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате возникновения источника

природной чрезвычайной ситуации, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей;

– экологического характера - разрушительный процесс, развивающийся в результате нарушения нормального взаимодействия технологических объектов с компонентами окружающей природной среды, приводящий к гибели людей, разрушению и повреждению объектов экономики и компонентов окружающей природной среды.

Одним из ЧС техногенного характера является пожар на различных объектах. По пожарной опасности рабочая зона относится к категории Г: в помещении присутствуют негорючие материалы в горячем состоянии, при их обработке выделяется тепло, искры, пламя.

В случае возникновения пожара должны быть предусмотрены автоматические системы противопожарной защиты, которые включают в себя датчики дыма, сигнализацию, план эвакуации и средства первичных очагов пожара: огнетушители.

10.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Эксперименты проводятся два раза в неделю по восьми часовому графику. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ и содержит требования при оформлении рабочего места.

Общественный контроль за соблюдением законодательства о труде и ОТ осуществляют профсоюзы силами специальных комиссий профсоюзных комитетов организаций.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением предприятиями, учреждениями, организациями гигиенических и санитарных норм и правил осуществляется подразделениями Федеральной

службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).

Государственное управление в условиях чрезвычайных ситуаций осуществляется на базе Единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС.

Заключение

Прогнозирование надежности КС позволит вовремя провести замену этого элемента, что отразится на работе энергетической системы. Исправная работа этой системы значительно сократит опасное воздействие на природную среду. Совместно с работами по повышению надежности КС данная работа должна вносить вклад в решение проблем социальной ответственности.

Заключение

В результате проделанной работы были рассчитаны значения интенсивности отказов КС по двум математическим моделям (Справочник ЭРИ [64] и Пека [51]) для внешних (температура и влажность) и внутренних влияющих факторов. Была разработана прогностическая математическая модель показателя надежности КС. Результаты моделирования КС верифицированы с данными, полученными в ходе эксперимента. По результатам моделирования проведен прогностический расчет надежности КС.

Для создания автоматизированной системы регулирования влажности в камере разработаны функциональная, принципиальная электрическая и монтажная схемы.

В разделе технико-экономического обоснования исследования приведена оценка проведения эксперимента с финансовой точки зрения, по которому наибольшие затраты отводятся на приобретение средств измерения.

Анализ вопроса социальной ответственности по данным исследования в этой работе показывает, что результаты исследования могут быть полезны для поддержания и улучшения состояния окружающей среды.

По данным моделирования можно сделать вывод о том, что температура контакт-детали увеличивается по мере роста температуры среды в камере (при температуре в камере 25 °С температура поверхности КС равна 33,5 °С, а при 50 °С – +40,6 °С). При воздействии температуры среды и изменении мощности на КС температура поверхности контакт-деталей увеличивается от 31,6 °С до 43,6 °С. Одновременное воздействие влажности воздуха и температуры среды в камере приводит к изменению температуры поверхности контакт-детали от 27,5 °С до 33,7 °С. В случае увеличения лишь мощности на КС и воздействия влажности в камере изменение температуры КС незначительно. Например, при изменении мощности на КС температура поверхности контакт-детали увеличилось лишь на 1,8 °С, а воздействие только влажности в камере вызвало уменьшение температуры КС на 1,1 °С.

Интенсивность отказов, рассчитанная по данным моделирования с использованием мультипликативной модели, в условиях увеличения температуры среды (от 22 до 70 °С) в камере больше на 0,01 1/ч, чем интенсивность отказов, рассчитанная по модели Пека при температуре среды 50 °С.

Интенсивность отказов, рассчитанная по мультипликативной модели, при изменяющейся мощности на КС и температуре среды в камере увеличивается (от 0,0084 до 0,0508 1/ч) и для максимальной мощности на КС принимает значения, близкие к результатам, рассчитанным по модели Пека, причем интенсивность отказов по модели Пека почти не изменяется при разных значениях мощности на КС (от 0,0274 до 0,0423 1/ч). Интенсивность отказов по мультипликативной модели больше в 1,2 раза интенсивности отказов по модели Пека при максимальной мощности на КС и наибольшей температуре в камере. Это можно объяснить тем, что модель Пека не учитывает воздействие мощности на КС, а только учитывает температуру контакт-детали, которая зависит от температуры среды в камере.

Значения интенсивность отказов, рассчитанные по модели Пека (от 0,0470 до 0,2365 1/ч) в условиях увеличения влажности и температуры в камере, значительно превышают интенсивность отказов по мультипликативной модели (0,0254 до 0,0546 1/ч), причем кривая интенсивности отказов изменяется достаточно резко (при относительной влажности 50 % КС нагревается на 2,8 °С, в то время как значение интенсивности отказов меняется на 0,1684 1/ч). В данном случае интенсивность отказов, рассчитанная по модели Пека больше, чем интенсивность отказов по мультипликативной модели в 4,3 раза.

Таким образом, можно прийти к выводу, что при одновременном воздействии влажности и температуры среды или только влажности воздуха прогностический расчет по мультипликативной модели может занижить интенсивность отказов почти в 4 раза. Следовательно, использование разработанной прогностической математической модели надежности КС целесообразно.

Список использованных источников

1. Случаи отключения электричества в России из-за аварий на подстанциях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ria.ru/spravka/20110523/378681161.html>.
2. Измайлов В.В. Прогнозирование остаточного ресурса электроконтактных соединений на основе статистического анализа данных тепловизионного мониторинга / Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. // Электротехника. - 2009. - №5. - С. 59-63.
3. Федотов А.И. Исследования показателей безотказности низковольтных коммутационных аппаратов электрических сетей / Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2013. - №9-10. - С. 73-80.
4. ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001 - 15 с.
5. Чунихин А. А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник для вузов / А. А. Чунихин. — 4-е изд., стер. — М.: Альянс, 2008. - 720 с.
6. Кляйн Р. Я. Электрические и электронные аппараты. Ч I. Физические явления в электрических аппаратах: учебное пособие / ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 145 с.
7. Классификация эксплуатационных факторов, которые влияют на техническое состояние воздушных судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mybiblioteka.su/4-58992.html>.
8. Мышкин Н. К. Электрические контакты: учебно-справочное руководство / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. — Долгопрудный: Изд-во Интеллект, 2008. — 560 с.
9. Назарычев А.Н. Исследование влияния температуры окружающей среды на расход ресурса электрооборудования / Назарычев А.Н., Андреев Д.А., Педро Антонио // Вестник ИГЭУ. - 2009. - № 3. - С. 1-5.
10. Назарычев А.Н. Оценка расхода ресурса электрооборудования с учетом режимов его работы и условий окружающей среды / Назарычев А.Н., Животягина С.Н., Жулина Т.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2010. - № 2 (81). - С. 219-224.
11. Галушко В.Н. Определение показателей надежности электрических систем с учетом изменяющихся условий эксплуатации / Галушко В.Н., Алферова Т.В., Алферов А.А. // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. - 2013. - № 3. - С. 80-87.
12. Влияние деструктивных факторов окружающей среды на свойства радиоотражающих покрытий рефлекторов антенн из полимерных композиционных материалов / Михеев А.Е., Гирн А.В., Раводина Д.В., Хоменко И.И., Алякретский Р.В. // Вестник СибГАУ. - 2015. - № 4. - С. 898-906.
13. Меснянкин С. Ю., Диков А. В. Расчет термического сопротивления контакта элементов энергетических установок с волнистыми поверхностями

- [Электронный ресурс] // Труды МАИ. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/upload/iblock/6dc/6dc7a30f6c82e050847e8b0204d4c78a.pdf>.
14. Тихонов С.А. Как проверить качество жгутовых сборок // Информационный бюллетень «Соединение». № 3. 2009. – 28 с.
 15. Клюквин Н.А. Практические аспекты электрического контроля собранных печатных модулей // Информационный бюллетень «Поверхностный монтаж». - 2010. - № 2. - 36 с.
 16. Урличич Ю.М. Неразрушающий контроль паяных соединений в радиоэлектронной аппаратуре / Ю.М. Урличич, Н.С. Данилин // Мир измерений. - 2010. - № 6. - С. 4–11.
 17. Бенда Д. Поиск неисправностей в электрических схемах: пер. с нем. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – 256 с.
 18. Панкин А.М. Диагностика электроэнергетических устройств и систем: учебное пособие для вузов по направлению подготовки магистров "Техническая физика" / А. М. Панкин, Н. В. Коровкин. - СПб: Изд-во Политехнического университета, 2013. - 301 с.
 19. Кучеренко Д.Е. Тепловизионная диагностика высоковольтного электрооборудования / Д.Е. Кучеренко, Е.А. Кочубей // Теоретические и практические проблемы развития современной науки: сборник материалов 8-й международной науч.-практ. конф. – Махачкала: ООО «Апробация», 2015 – 124 с.
 20. Тепловизионный контроль в энергетике. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pergam.info/teplovizor/see/e25/180/>.
 21. Волкенштейн С.С. Контроль качества и диагностика неразъемных соединений на печатных платах / С.С. Волкенштейн, В.Л. Ланин, А.А. Хмыль // Печатный монтаж. - 2010. - № 3. - С. 33–37.
 22. ГОСТ 17441-84. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001 – 15 с.
 23. Нисан А.В. Рентгеновский контроль печатных узлов / А.В. Нисан, Е.А. Нисан. – М: Моск. гос. инс-т электроники и математики, 2010 – 68 с.
 24. Бернард Д., Брайнт К. Использование последних технологических достижений для рентгеновского контроля электронных изделий // Технологии в электронной промышленности. - 2012. - №2. - С. 34 – 38.
 25. Ланин В. Методы контроля и диагностики скрытых дефектов в изделиях электроники / Ланин В., Волкенштейн С.С., Хмыль А. // Компоненты и технологии . - 2010. - №2. - С. 137-142.
 26. Методы измерения [Электронный ресурс] // Кабельная измерительная техника. Режим доступа: <http://www.stell-2.narod.ru/metodall.htm>.
 27. Артищев С.А. Диагностика качества электрических контактов и проводников методом нелинейной видеоимпульсной рефлектометрии: дис... канд. техн. наук: защищена 8.12.15: Томск, 2015. – 123 с.
 28. Седельников Ю.Е. Моделирование и определение коэффициента прохождения волны и коэффициента отражения волны через лист углепластикового композитного материала / Седельников Ю.Е.,

- Данилов И.Ю., Галяутдинов Б.И. // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы. - 2015. - С. 125-126.
29. Приборы, оборудование и средства для неразрушающего контроля и технической диагностики. Неразрушающий Контроль. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ncontrol.ru/>.
30. Тарасов Н.А. Использование метода импульсной рефлектометрии для определения повреждений кабельных линий [Электронный ресурс] // Информационный лист АО «ВАТСОН»: Приборы и средства измерений. – Режим доступа: http://www.watson.ru/izm/doc/met_ref/index.shtml.
31. Гильманов Э.А. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий передачи на основе их диагностики методом импульсной рефлектометрии: дис ... канд.техн.наук: защищена 29.01.10: Уфа, 2010. – 134 с.
32. Былина М.С. Новые возможности импульсного метода измерений параметров кабелей для цифровых систем передачи / М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, А.С. Дюбов // Электросвязь. - 2010. - № 2. - С. 32–36.
33. Былина М.С. Усовершенствованная модель и методика расчета сигналов, отраженных из неоднородной кабельной цепи // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехн. ун. «Информатика. Телекоммуникации. Управление». - 2015. - № 1 (212). - С. 23–36.
34. Былина М.С. Новый подход к оценке разрешающей способности импульсного метода измерений / М.С. Былина, С.Ф. Глаголев // II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб. - 2013. - С. 687–692.
35. Пивоваров А.Е., Добросотских А.С. Математическая модель электрического сопротивления с электропроводным материалом // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной научно-технической конференции. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный университет им. В.И. Ленина», 2015. – 628 с.
36. Дьяченко М.Д., Тесля Ю.А. Система автоматического дистанционного мониторинга состояния контактных соединений высоковольтного оборудования электрических сетей. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. - 2013. - №6. - С. 19-23.
37. Мурашов М.В. Численное моделирование электрической проводимости контактных тел / Мурашов М.В., Панин С.Д., Климов С.М. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. - 2015. - №01. - С. 189-200.
38. Баталова А.В. Пирометрический контроль качества электрических контактных соединений / Баталова А.В. Захаренко В.А., Пономарев Д.Б. // Динамика систем, механизмов и машин. - 2014. - №2. - С.26-29.
39. Бекбаев А.Б. Карбозова А.М., Шерышев В.П. Контроль теплового состояния электрического контакта // Электромеханические и энергосберегающие системы. - 2012. - №3 (19). - С.575-578.

40. Контроль температуры поверхности материала, недоступной для прямого термометрирования / Бекбаев А.Б. Бажанов А.А., Шерышев В.П., Бавлаков В.Н. // Вестник автоматизации. - 2011. - №1 (31). - С. 45-47.
41. Умнов А.Е. Методы математического моделирования: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2012. - 295 с.
42. Заусаев А.Ф. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: учебное пособие. – Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2010. - 100 с.
43. Численное решение дифференциальных уравнений с частными производными. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.uchites.ru/files/nummethod_book_chapter5-1234.pdf
44. Майорова Ю.А. Моделирование электроэнергетических система и построение их физических моделей / Майорова Ю.А., Пронина А.К., Путилин К.П. // Электротехнические комплексы и системы. - 2015. - № 1. - С. 33-38.
45. Численно-аналитический метод решения нелинейного нестационарного уравнения теплопроводности / Белик В.Д., Урюков Б.А., Фролов Г.А., Ткаченко Г.В. // Инженерно-физический журнал. - 2008. - №6. - С. 1058-1062.
46. Милюкова О.Ю., Тишкин В.Ф. Численный метод решения уравнения теплопроводности с разрывным коэффициентом на основе многосеточного метода // Препринты ИПМ им. Кельдыша. - 2013. - №64. - 19 с.
47. Макарьянц Г.М., Прокофьев А.Б. Основы метода конечных элементов: учебное пособие. – Самара: изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 80 с.
48. Воробьев В.Е., Кучер В.Я. Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2004. -56 с.
49. РД 26.260.004-91 «Методические указания прогнозирования остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации»: утв. и введен в действие Концерном «Химнефтемаш» 01.01.1992. – Режим доступа: https://znaytovar.ru/gost/2/RD_2626000491_Metodicheskie_uk.html.
50. Наумов А.Е. Автоматизированная система прогнозирования остаточного ресурса контактных соединений электрических сетей в условиях ограниченного объема диагностической информации: дис...канд.техн.наук: защищена 2.06.2009: Тверь, 2009 – 173 с.
51. Измайлов В.В. Прогнозирование остаточного ресурса электроконтактных соединений на основе статистического анализа данных тепловизионного мониторинга / Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. // Электротехника. - 2009. - № 5. - С. 59-63.

52. Измайлов В.В. Математическая модель для прогнозирования технического состояния электроконтактных соединений / В. В. Измайлов, М. В. Новоселова // Контроль. Диагностика. - 2012. - № 2. - С. 38-43.
53. Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. Алгоритм прогнозирования ресурса электроконтактного соединения / Измайлов В.В., Новоселова М.В., Наумов А.Е. // Программные продукты и системы. - 2008. - №4. - С. 118-120.
54. Кунько А.Е., Спесивцев А.В. Алгоритмическое обеспечение методики прогнозирования остаточного ресурса технических объектов на основе метода формализации экспертной информации // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2012. - № 1. - С.14.
55. Макаров А.Н., Корнеев К.Б. Программная среда прогнозирования вероятностной надежности элементов сложных электротехнических систем // Программные продукты и системы. - 2008. - № 1. - С.14-16.
56. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2007 – 20 с.
57. Рассказчиков А.В. Определение риска возникновения ущерба при отказе электрооборудования подстанций / Рассказчиков А.В., Шульпин А.А., Шомов П.А. // Вестник Ивановского Государственного Энергетического Университета. - 2013. - №1. - С. 19-24.
58. Каталог продукции: Термометр электроконтактный ТКП-100. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/tkp_100.pdf.
59. Инструкция по эксплуатации тепловизора Testo 890. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/search/?text=%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D1%80%20testo%20890&lr=67&clid=2196598>.
60. Датчик влажности и температуры ДВТ 03.т. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/search/?text=%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%20%D0%B4%D0%B2%D1%82%2003.%D1%82&lr=67&clid=2196598>.
61. Инструкция по эксплуатации ультразвукового увлажнителя воздуха GALAXY GL8004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://manualbase.ru/files/page/5/galaxy-gl8004-instruction-online.html#page_pdf.
62. Официальный сайт «Siemens»: <http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic/>.

63. ANSYS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>.
64. Надежность электрорадиоизделий: справочник / Под ред. С.Ф. Прыткова. - 2002. - 574 с.
65. Контроль качества полупроводниковых компонентов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.symmetron.ru/suppliers/infineon/files/pdf/infineon/INF15.pdf>
66. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Креницына. ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
67. Энергетическая безопасность и повышение надежности электрических контактов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eps98.ru/statismazkah-pastah/energeticheskaya-bezopasnost-povishenie-nadezhnosti-elektricheskikh-kontaktov.html>.
68. Расчет освещения по методу коэффициента использования светового потока. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://malahit-irk.ru/index.php/2011-01-13-09-04-43/202->.
69. Расчет освещенности помещения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrika-svoimi-rykami.com/raschet-osveshheniya/raschet-osveshheniya>.
70. Мощность светодиодных ламп. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knigastroitelya.ru/elektrichestvo/svetodiodnye-lampochki/moshhnost-svetodiodnyx-lamp.htm>.
71. Чрезвычайная ситуация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B0%D0%B9%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.
72. Миненков А.А. Размерная зависимость энергии активации диффузии в слоистой пленочной системе медь никель / А.А. Миненков, С.И. Богатыренко, Р.В. Сухов, А.П. Крышталь // Физика твердого тела. - Т. 56. - 2014. - № 4. - С. 290-294.

Predictive modeling of the energy equipment elements reliability

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Таханова А.А		

Консультант кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедры АТП	Стрижак Павел Александрович	к.ф.-м.н.		

Консультант-лингвист кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоринова Зоя Владимировна	к.п.н.		

Introduction

The research is vital because widespread application of contactors in areas like automatic control system, auto motives, aircrafts etc. makes its reliable operation very important.

The aim of this work is to predict the reliability of the CC with the help of data obtained during the modeling in Ansys program.

The objectives of the work are:

- to analyze literature data;
- to modeling electrical contact connection in Ansys;
- to conduct an experiment using a thermal imager creating various environmental conditions in the chamber for verification the modeling data;
- to analyze results;
- to carry out a predictive calculation of CC reliability using mathematical models.

The research object is the contact connection (CC) from brass and copper.

The research methods are modeling electrical contact connection in Ansys for predictive calculation of CC reliability using mathematical models: multiplicative model and Peck's model.

The practical value of the work is accounted for the possibility to design the automated system for measuring the environmental parameters and with the model of the object carry out its predictive calculation reliability. It will allow being aware of the approximate time of the CC failure and prematurely replace the defective element, which will significantly reduce both production losses and economic costs.

This work has 135 pages and consists of introduction, 10 basic units. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that unit. The total outcome of the work is summarized in a separate conclusion. Furthermore, it includes 28 figures, 36 tables and 2 appendices. References consists of 84 sources represented by books of Russian and foreign authors.

1. Analysis of the electrical contacts diagnosis methods

In the work of any object it is always been important to ensure the reliability and safety of materials, elements that make up the object. Malfunction in the facility operation can lead to deterioration in the quality of work and products, to stop the object operation and also to the occurrence of accidents at the facility [2]. Electrical contact connections are part of many technical systems, including those in heat engineering, and are one of the important elements.

Certain working conditions, factors affect the CC state, which eventually lose their initial characteristics. The main factors that directly affect the contact and accordingly determine the speed and degree of contact wear are [3]:

- environmental parameters (temperature and humidity);
- a magnitude of current and voltage;
- a material of contacts, including their sizes, shapes;
- time and amplitude of contact vibration at the moment of closing, etc.

With a long nominal current, on the contact resistance of CC a power is generated, which causes the contact heat up, that softening and melting of the contact material. In case of a short circuit, currents of 10 ... 20 times higher than the nominal values pass through the contacts. The temperature of the contact pad rises instantly due to the small time constant of heating (it is the ratio of the heat absorption capacity of the body to its heat-dissipating capacity and depends on the size, surface and properties of the conductor or body) and can reach the melting point, which can lead to welding of the contacts [4].

Contact joints and contacts from heterogeneous materials are more susceptible to corrosion than from homogeneous metals. Contact surfaces even with a careful processing have a roughness, so contacting between contact-parts occurs at individual points [5].

In the contact closure mode, contact vibration and erosion are possible. When the contacts are closed, a collision occurs, as a result of which there is an elastic deformation of the material of both contacts. This leads to the rejection of the

movable contact, and it bounces off from the stationary contact. With each rejection between the contacts, an electric arc arises, causing contacts wear in the form of reflow and spraying of the contact material. Erosion is the transfer of metal from contact to contact when passing an electric current [4].

1.1 The influence of environmental parameters on the contact connection

The environment implies a set of external climatic, mechanical, physicochemical, biological factors that affect the state of the product [6].

All the variety of factors affecting the object can be divided into subjective and objective. Subjective factors include improper maintenance and errors of maintenance personnel. Objective factors are divided into external, outgoing from the environment, and internal, depending on the features of the object itself [6].

Climatic influences refer to external factors and include such parameters as temperature, humidity, atmospheric pressure, solar radiation, air admixtures. In this paper, there will be considered two environmental parameters, which have a large effect on the CC - it is a change in the humidity and temperature of the medium.

The environment humidity affects the physico-mechanical properties and parameters of the contact-detail material, which is manifested in the change of their electrical resistivity. The main characteristic of humidity is a relative humidity - a random variable, depending on the ambient temperature. Under the influence of moisture, oxide and sulfide films are formed on the contact elements surface, which causes a change of the contact resistance. Due to oxidation, the transient resistance can increase hundreds and thousands of times. The surfaces coated with oxide films have a higher transition resistance than pure surfaces [5]. The transient resistance increase leads to the rise in power on resistance and the rise in the contact connection temperature [7].

The temperature effect on the CC is due to both the ambient temperature and the heating of the CC itself when electric current flows through them. In a confined space with other electrical devices, which convection transfer heat to the surrounding space, the CC is heated, that increases the temperature of the electrical contact.

Increasing the temperature of the CC entails a gradual wear of the metals, which with time will lead to the CC's failure.

A mathematical model for the calculation of electrical equipment is proposed by Nazarychev A.N. who takes into account the temperature factor of the environment. The results of the dependence of the electrical equipment service life (on the example of transformer TDTs-80000/110) on the ambient temperature are presented in calculating the actual spent and residual life of electrical equipment [8, 9].

Investigation of the reliability of electrical equipment and electrical systems using analytical and statistical tools, taking into account changing operating conditions, is given in [10]. The developed software algorithm provides an additional field for the inclusion of temperature, humidity and other environmental factors.

Since the investigated CC are located in the building (manufactory), the influence of the ambient temperature is expressed by the temperature of the objects emitting heat. The rate of increase in heating CC depends on the thermal conductivity of contact materials. Taking into account the internal heat released by the CC during the flow of electric current through it, the temperature effect on the contact increases.

1.2 Methods and resources of detecting defects in electrical contacts

Methods based on visual control

There are two the most commonly used monitoring methods of inseparable joints in industrial production: destructive (selective) quality control (is characterized by the separation strength and the nature of bond failure and non-destructive visual inspection, that reject potentially unreliable solder joints based on inspection results.

Destructive control involves conducting operations on the investigation object, after which its use becomes impossible. Usually, the CC are subjected to such tests as high stress, peel force (to assess the mechanical integrity of the crimp connection), a saw for examining the internal structure of the contact, exposure by aggressive media (herewith the control is reduced to comparing the results with the results of measurements of the reference contact) [11, 12].

Insulation tests by increased voltage can detect local defects that are not detected by other methods. A test voltage is applied to the contact connection, exceeding the working voltage, and the normal connection withstands the tests, the defective one breaks through. Control by increased voltage provides only an indirect estimate of the connection strength, and its main task is to check the absence concentrated defects [11].

Solder joints are mainly subjected to nondestructive testing. The principle of non-destructive testing is the observation, recording and analysis of the results of interaction with the controlled object of the influencing factors (physical fields, i.e. radiations or substances), and the nature of this interaction depends on the chemical composition, structure, state of the controlled object structure, etc. Depending on the type of physical interaction with the monitored object, non-destructive testing is divided into:

- 1) optical;
- 2) electric;
- 3) thermal;
- 4) acoustic;
- 5) magnetic;
- 6) eddy current;
- 7) radio wave;
- 8) radiational;
- 9) control by penetrating substances.

Each kind of control solves a limited range of tasks [13].

One of the methods of nondestructive testing is the external inspection of objects. Visual inspection is the simplest and most widely used method of control. This method allows detect only external defects. For example, external defects of welded seams: non-penetrations, rips, undercuts, external cracks and pores, displacement of welded edges of parts, etc. [13].

It is recommended to perform a visual inspection of the electrical system before switching on, when testing the electrical circuits faulty, including carrying out:

checking the electrical circuit for the presence of uninsulated wires; checking the presence and wear degree of insulation in order to avoid the possibility of a short circuit; checking for loose or defective electrical contacts and connections, especially electrical connectors; checking the contacts designed to connect the supply voltage; checking for corrosion and the strength of the connection; short-term periodic switching on and off of supply voltage in an electrical circuit [13].

However, only a small part of the possible causes of the accident can be determined by the "organoleptic" method (with the help of the senses). In addition, in this case, the human factor plays an important role, since the result of verification depends on the qualification of the master who makes the inspection. Therefore, a systematic, methodical and complete verification of the device functioning is necessary [14].

The following methods can be included to visual control: thermal indication, thermography, photoacoustic microscopy and fluoroscopy. Several Non-Destructive Techniques and methods such as X-ray tomography, frequency response analysis, spectroscopy, acoustic sensor and vibration analysis are customarily used.

A slight heating of the elements can be cause of the most accidents and overloads of electrical equipment. This is the basis for the use of special substances - thermal indicators, which, when a certain temperature is reached, dramatically change their color due to the chemical interaction of the components. Thermal indicators are manufactured in the form of labels the required size with a different temperature range from 40 to 260 ° C. It can be glued to any surface, including on the concave and convex, like a normal sticker. Also, thermo-indicator compositions are made in the form of a paint, which is applied even layer on the surface by a brush. Thermal indicators can be non-reversible disposable or reversible reusable [15]. Thermal indication allows eliminating a defective area quickly, if it is in the line of sight, which is not always feasible. In addition, the indicator can lead to a false alarm if the cause of the heating is not connected with the emergency state of the electrical circuit, and does not allow determining the causes of the contact heating.

Photoacoustic microscopy is used to control solder joints, it is successfully developed due to high information content, absence of significant impact on the sample, unambiguity and reproducibility of the received information reflecting the physical essence of the controlled characteristics. The use of this method is effective when controlling printed assemblies with a large mounting density. The drawbacks of the method are the necessity to ensure proper resolution and sensitivity, which in turn leads to the use of expensive equipment. At the same time, control is carried out in laboratory conditions and requires the dismantling of the object under study. The fig. A.1 shows examples of defects detected with photoacoustic microscopy.

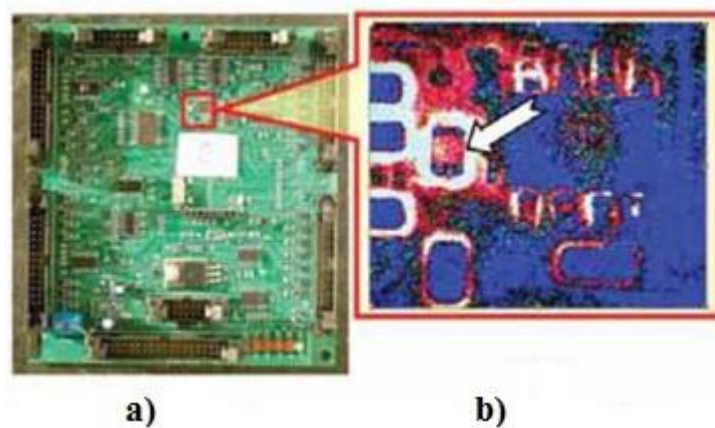


Figure A.1 - The appearance of the printed circuit board with SMD elements (a) and the laser photoacoustic topogram (b) of the sector with a poor-quality (exfoliated) chip-capacitor

For example, in [16] arcing faults and diagnostic method are researched, in other words, present work is focused on arcing faults monitoring in low voltage switchgear based on heat and smoke particle sensing using thermal ionization detector (TID). Even if arcing faults leads to resistance rise, it's more effective to find such fault and explore better condition monitoring solutions for predictive maintenance of power networks. But this system is not mobile, so it's impossible to use it for real object. In addition, method requires the researched system is dismantled, what will lead to economic losses.

Thermography (IRT) has been widely used method for electrical equipment monitoring and fault diagnosis [1, 16-22]. It is known this method is cost effective,

reliable and non contact type of infrared thermographic inspection system. IRT is widely used in power system [1], such as temperature condition monitoring of equipment contacts [1], and overheating defects diagnosis of high voltage transmission lines [1].

Infrared thermography (IRT), which has been widely used, is an important electrical equipment monitoring and fault diagnosis technology. It plays a very important role in monitoring and inspecting thermal defects of electrical equipment without shutting down, which has an important significance for the stability of power systems. The thermal imager is used to detect infrared radiation (i.e. heat source), then converts laser signals into electric signals, and generates heat distribution images on the video monitor. This thermal image can reflect the surface temperature distribution of electric equipment and can be instantly visualized. The defective electrical equipment will display abnormal thermal distribution on its surface. This technology has been widely used in medical imaging, nondestructive testing, structure defect detection, fault diagnosis. There are many research works relative to electrical equipment or contact temperature monitoring using the thermal imager [1, 17 – 20, 21, 22], some of which suggests ways of processing thermal images. Nowadays make IRT automatic is important issue. Currently, automatic inspection of IRT images is widely used in medical imaging, non-destructive testing, and structure defect detection and so on. However, automatic diagnosis of IRT images employing intelligent systems is still in early stages in power systems due to the complex analysis and various factors that need to be considered in developing such a system. So A.S.N. Huda proposed a semi-automatic approach for thermographic inspection of electrical installation within building [17]. An example of the detection of electrical contacts with an increased temperature by thermal imager is given in the fig. A.2.

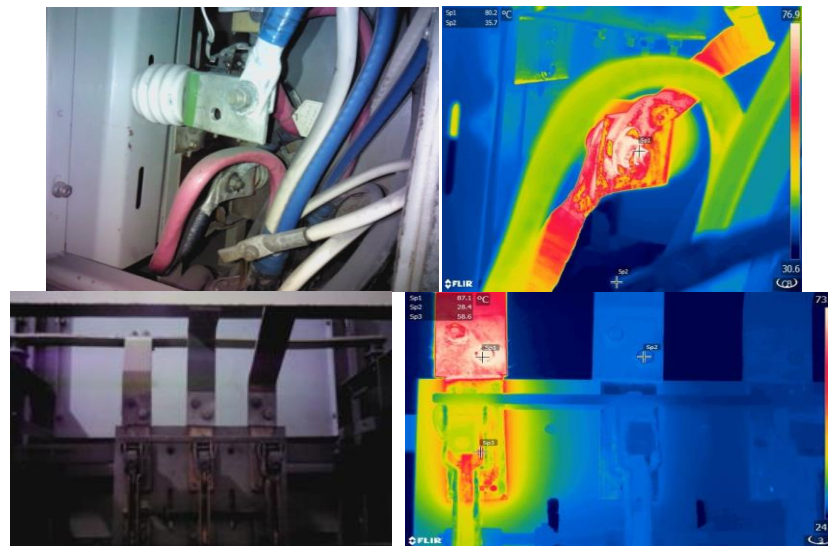


Figure A.2 – Thermograms and usual images of the supply cable and input from the transformer

Although using infrared thermography in electric equipment is very convenient, it still has many problems to be considered. The images have the characteristics of high noise, low contrast, which require preprocessing; in the acquisition of images, there are interferences about background, experimental simulation conductor, conductor, other equipment and so on. Therefore, in [17] it may find the one of the decisions that focus on the description of hotspots, difficulties and future trends in infrared thermal image processing, intelligent fault diagnosis research.

The use of fluoroscopy is an effective tool for diagnosing hidden technological defects, improving the quality and reliability of manufactured products by ensuring the control of each solder joint and the integrity of integrated circuits. A wide range of detectable technological defects, an independence from the access availability make the X-ray method indispensable for controlling complex printed assemblies [23]. Figure A.3 shows examples of defects detected by the X-ray method. The fluoroscopy is an expensive method of diagnosis, and therefore finds application, mainly in the creation of microchips. In turn, control of extended lines by this way is not practical due to the large time and energy costs.

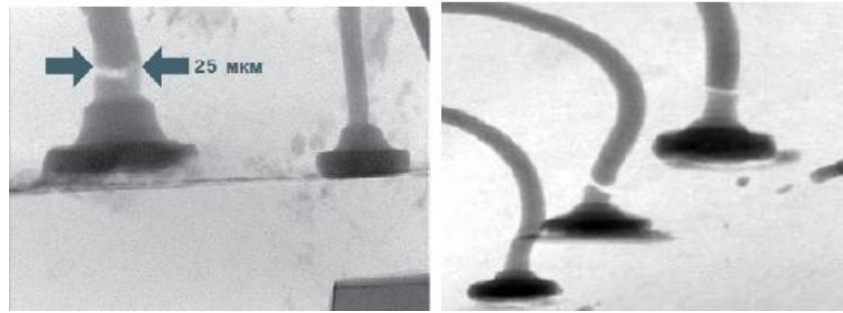


Figure A.3 - Cracks in the ball joint of the gold welding wire

The essential knowledge of the physics and mechanics of the electrical contact interface and properties of materials helps to achieve better performance and long-term reliability of devices. The mechanical area of contact is visualized by many researchers using different techniques which can be classified into destructive and non-destructive. In [24, 25] authors presents new and recent diagnosis method – X-Ray CT scanning. Using this technology it is real to get 3D visualization data of non-disassembled contact interfaces. Firstly, there was successful try to get 2D data with X-Ray CT method [25]. The aim of the work [14] is to use the 3D data captured by X-Ray CT scanning of contacts to explore techniques for evaluating the contact spots and asperities to calculate contact resistance and other the electrical parameters (voltage and current). In [26] a comparison for the total mechanical area of contact, the number of contact spots and the total contact resistance is conducted using both the 2D and 3D mapping techniques to a resolution of around 5 μm . The paper [25] explains the X-Ray CT scanning procedure and highlights in detail the analysis techniques which are used for the development and visualization of the contact interface as a 3D contact map. For the analysis of the 2D cross-sectional slice images and 3D reconstruction models, Contact Analysis Techniques (CAT) are developed and implemented with a suite of tools developed using Matlab and Image Processing Toolbox.

It is found that the total mechanical area of contact and number of contact spots decrease after current loading whether using the 2D or 3D contact mapping technique. Thus, the contact resistance is found to increase after current loading. However, it is found that the different techniques (2D or 3D) produced different

results. The 2D mapping technique is shown to have issues with “Neighboring Contact Spot Aggregation” and the “Overlapping Void Disaggregation” as information in the third dimension can be lost due to the 3D nature of a contacting surface interface. Thus, a 3D analysis technique should be used when investigating contact interfaces [25].

Experiments are the best way to find out the reliability of electrical equipment and his main parts. For example, in paper [16] experimental investigation is performed in a climate controlled chamber with thermal ionization detector where bus bars having poor joints are installed. The results are presented as temperature-time dependence on different conditions: the compartment was kept at room temperature and the power supply was switched on, but after a certain time elapse, the power was turned off; the compartment was first heated up to a certain temperature and then bus bar supply was switched on, and after a certain time elapse, the power was turned off.

The [20] is about the thermal image of a three-phase circuit breaker received with infrared camera, when the three-phase circuit breaker was under a tension of 0.4 kV and at a current load of 60% of the maximum permissible load. The change in load causes the rise of temperature of all phases, in compare the admissible temperature limit, except phase 1 [20].

A mathematical description of reliability is possible by an approximation of the empirically determined life-time distributions, e.g. with the Weibull distribution. The data required for this method are determined through test time reductions in accelerated life-time tests. In turn, these test time reductions are based on acceleration models familiar from the literature, e.g. the Arrhenius, Coffin-Manson or Hallberg-Peck relationship [26]. Using the data received in accelerated tests on separable electric contact, when determined the influence of the contact force, there is the error rate prognosis in [26]. It was clarified that the consequences of reducing the contact force on the service life. In the completely recorded life tests and the calculation of the failure rate, halving the contact force results in a twenty-two-fold higher failure rates [26].

In [27] the temperature and resistance addition from contact force is shown. Also there is study of electrical joint compound influence to aluminum power connector resistance. Based on getting data using Arrhenius equation time to failure (TTF) was defined as the time to the 5% increment of contact resistance, which can be calculated from the fitting function of different alternating temperature cycles [27].

In [28] investigation mainly aims to determine the effect of contact force and current on contact spot over-temperature and contact resistance of rivet contacts accurately.

In [29] the contactors were tested till its failure according to the standard IEC 60947-4-1. Moreover, there are many standards such as InterNational Electrical Testing Association (NETA), American Society for Testing & Materials (ASTM) and National Fire Protection Association (NFPA) provide a guidelines for IRT inspection that were used in paper [22].

2. Methods for predicting the reliability of technical objects

It is not enough to conduct condition control for object reliable operation, as continuous monitoring is difficult realized and it demand significant financial and time expenses. The decision of this problem can be represented by reliability prognostic calculation. Contactors are expected to be working in high reliability to guarantee reliability and safety of electrical systems. Therefore, prediction of residual endurance (RE) of ac contactors is proposed to measure the conditions of them. The RE of an ac contactor primarily depends on its residual electrical endurance (REE), because normally the electrical endurance is significantly less than the mechanical endurance.

Prediction of a technical object is a scientific direction that studies the methods of the technical state predicting of an object under the influence of certain factors on it. Forecasting is used to determine the residual life of systems, their technical condition, the number of repairs and maintenance, the consumption of spare parts and the solution of other reliability problems [31].

In forecasting a variety of methods are used by modeling, analytical calculations, statistical information, expert assessments, analogy methods, theoretical information and logical analysis and etc. The forecasting methods are aimed on rationale of the required level of reliability, on an approximate estimate of the expected level of reliability of objects, on calculation of the elements failure rates.

Two approaches to forecasting are used depending on the required reliability of the forecast and the possibilities of obtaining information: a simplified, based on deterministic estimates of indicators, and a refined, based on probabilistic estimates. In the first case, the dependence of the resource of equipment on its operating time and the need to establish the cause of the loss of equipment operability, the determination of the loads acting on the equipment are characteristic. Refined methods require consideration of the dimensions and damages that arise in the elements of equipment, which often proves to be an impossible condition, therefore,

selective control and damage evaluation according to the detected defects of the largest sizes are applied [32].

According to [31], the methods by information volume that is used in prediction can be divided into three groups:

- methods of expert evaluation are applied in the case of absence of reliable information about the object and data on changes in its condition during the operation;
- modeling methods used when there is sufficient statistical data volume on the change in the state of similar objects in the exploitation process;
- statistical methods are based on extrapolation and used when there are sufficiently complete data, but the general state patterns of the object during the operation are not known.

Static methods mean processing of the relevant statistics for a large number of connections. The characteristics of contact connections reliability and durability can be obtained with the help of these data. However, there are drawbacks of this approach, which consist in the necessity to conduct a large number of tests. An alternative to this approach is the statistical method of time series analysis, where the diagnostic parameters (resistance or temperature of contact-parts) dependence on time is estimated [31].

In addition to the above methods the methods of system analysis, mathematical modeling are used. The use of decision support methods and object-oriented programming gives the possibility of an information support system developing for decision-making on the control actions choice to prevent emergencies in conditions of small volume and insufficient accuracy of information on the state of electrical contact connections based the resource parameter monitoring [33].

Forecasting of the CC residual life based on the results of monitoring the temperature rise ΔT (exceeding the temperature of the most heated point of the CC over the ambient temperature) for a certain period using the ARIMA model (model and methodology of time series analysis) was considered in [34]. The dependence of

the excess temperature on time is considered by the method of statistical analysis of thermal imaging data.

The residual life predicting method of collapsible and non-separable electrical CC based on the results of monitoring the electrical connection during the operation was proposed by Izmailov V.V. and Novoselova M.V. [35].

In paper [36], an algorithm for predicting the resource of an electrical CC was proposed, which relies on the use of two parameters (k_1 specifies the maximum allowable growth of the contact resistance at which a parametric failure occurs, k_c serves as the current control signal for self-correction of the model), contact resistance measurement and monitoring of technical condition CC in exploitation.

Kunkov AE and Spesivtsev A.V. proposed a forecasting method of the technical objects residual resource on the basis of the method of expert information formalization.

The computer system and software complex developed in [37] allow to model processes inside of contact-parts and realize the solution of a differential equations complex describing the process of current flow in electrical contacts under non-stationary external conditions. In the form of a modular application that allows the effective introduction of process visualization elements and the creation of an intuitive user interface, this calculation environment permits the efficient calculation process scaling: one user interface can manage simultaneously several calculation blocks that run on one or several computers. As a result, decline the failure probability will lead to a reduction in the power system damage associated with emergencies in switching equipment. The developed system allows carrying out not only preventive measures to prevent the failure of contact connections, but also increases the functioning reliability of the power system elements.

Conclusion

As a result the failure rates were calculated for two mathematical models (Handbook of ERI [64] and Peck [51]) for external (temperature and humidity) and internal influencing factors. A prognostic mathematical model of the CC reliability index was developed. The simulation results were verified by the data obtained during the experiment. Based on the results of the simulation, a predictive calculation of the CC reliability was carried out.

To create an automated humidity control system in the chamber, a functional, principled electrical and wiring diagram has been developed.

In the feasibility study section of the research, an evaluation from a financial point of view is made, according to which the largest costs are allocated for the acquisition of measuring instruments.

Analysis of the issue of social responsibility according to the research in this work shows that the results of the study can be useful for maintaining and improving the state of the environment.

According to the simulation data, it can be concluded that the temperature of the contact part increases as the temperature of the medium in the chamber (at a temperature in the chamber of 25 °C the temperature of the CC surface is 33.5 °C, and at 50 °C, +40.6 °C). When the temperature of the medium effect and the power on the CC is changed, the surface temperature of the contact-parts increases from 31.6 to 43.6 °C. Simultaneous exposure of air humidity and temperature in the chamber leads to a change the surface temperature of the contact-parts from 27.5 to 33.7 °C. In the case of effect only the power on the CC and the humidity in the chamber, the temperature change of the CC is insignificant. For example, with a change in the power on the CC the surface temperature of the contact part only increased by 1.8 °C, and only the humidity in the chamber caused a decrease in the temperature of the CC by 1.1 °C.

The failure rate, calculated on modeling data using the multiplicative model, in conditions of the medium temperature (from 22 to 70 °C) increasing in the

chamber, is more by 0.01 1/h than the failure rate, calculated on the Peck's model at a temperature of the medium of 50 °C.

The failure rate, calculated on the multiplicative model, under conditions of varying power on the CC and the temperature of the medium in the chamber, increases (from 0.0084 to 0.0508 1/h) and at maximum power on the CC takes values close to those calculated using the Peck's model, in addition the failure rate on the Peck's model almost unchanged for different power values on the CC (from 0.0227 to 0.0423 1/h). The failure rate for the multiplicative model is 1.2 times more than the failure rate for the Peck's model at maximum power on the CC and the highest temperature in the chamber. This can be explained by the fact that the Peck's model does not take into account the power effect on the CC, but only takes into account the temperature of the contact part, which depends on the temperature of the medium in the chamber.

The values of the failure rate calculated by the Peck's model (from 0.0470 to 0.2365 1/h) under conditions of growing humidity and temperature in the chamber significantly exceed the failure rate on the multiplicative model (from 0.0254 to 0.0546 1/h), besides the failure rate curve changes quite sharply (at a relative humidity of 50 %, the CC is heated by 2.8 °C, while the value of the failure rate changes by 0.1684 1/h). In this case, the failure rate calculated by the Peck's model is 4.3 times larger than by the multiplicative model.

Thus, it can be concluded that when both the humidity and temperature of the medium or only the humidity of the air influence, the predictive calculation using the multiplicative model can understate the failure rate by almost 4 times. Consequently, the use of the developed predicting mathematical model of the CC reliability is expedient.

References

1. Qasim, K., Dr. Asfar, A.K., Furcan, A. (2016). Condition monitoring tool for electrical equipment – thermography // International conference on electrical, electronics and optimization techniques. 2802-2806.
2. Cases of power failure in Russia due to accidents at substations. [An electronic resource]. - Access mode: <http://ria.ru/spravka/20110523/378681161.html>.
3. Fedotov, A.I., Gracheva, E.I. & Naumov, O.V. (2013). Investigations of failure-free operation indicators of low-voltage switching devices of electric networks // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Problems of energy. № 9-10, 73-80.
4. Klein, R. Ya. (2010) Electrical and electronic apparatus. P1. Physical phenomena in electrical apparatus: a textbook / Tomsk Polytechnic University. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 145.
5. Chunikhin, A.A. (2008). Electric devices. General course: textbook for universities / A.A. Chunikhin. - Moscow: The Alliance, 720.
6. Classification of operational factors that affect the aircraft technical condition [An electronic resource]. - Access mode: <http://mybiblioteka.su/4-58992.html>.
7. Myshkin, N.K. (2008). Electrical contacts: educational reference manual / N.K. Myshkin, V.V. Konchits, M. Braunovich. - Dolgoprudny: Intelligence, 560.
8. Nazarichev, A.N., Andreev, D.A. & Pedro Antonio. (2009). Investigation of the influence of ambient temperature on the resource consumption of electrical equipment // Bulletin of ISEU. № 3, 1-5.
9. Nazarichev, A.N., Zhivotyagina, S.N. & Zhulina, T.A. (2010). Estimating the resource consumption of electrical equipment, taking into account its operating modes and environmental conditions. // Trudy NSTU R.E. Alekseeva. № 2 (81), 219-224.
10. Galushko, V.N., Alferova, T.V. & Alferov, A.A. (2013). Determination of reliability indicators of electrical systems taking into account changing operating conditions // Bulletin of GSTU named after. P.O. Suhogo. № 3, 80-87.
11. Tikhonov, S.A. (2009). How to check the quality of the bundle harnesses // Newsletter "Connection". № 3, 28.

12. Kljukvin, N.A. (2010). Practical aspects of electrical control of assembled printed modules // Newsletter "Surface Mounting". № 2, 36.
13. Urlichich, Yu.M. (2010). Nondestructive testing of soldered joints in radio electronic equipment / Yu.M. Urlichich, N.S. Danilin // The world of measurements. № 6, 4-11.
14. Benda, D. (2010). Troubleshooting in electrical circuits. Trans. Germ. - S. Petersburg: BHV - Petersburg, 256.
15. Pankin, A.M. (2013). Diagnostics of electric power devices and systems: a textbook for higher educational institutions in the direction of training masters "Technical Physics" / A.M. Pankin, N.V. Korovkin; S.-Petersburg. State Polytechnical University. – Sankt-Petersburg: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 301.
16. Hussain, A., Shafiq, M. & Lehtonen, M. (2016). Thermal monitoring of low voltage switchgear using thermal ionization detector // Power and electrical engineering of Riga technical university, 9.
17. Zou. H., Huang. F. (2015). An intelligent fault diagnosis method for electrical equipment using infrared images // Chinese Control Conference, 6372-6376.
18. Haoyang, C., Yongpeng, Xu, Jundong, Z. & Zhong, T. (2013). The methods in infrared thermal imaging diagnosis technology of power equipment // International Conference on Electronics Information and Emergency Communication, 246-251.
19. Wang, Y., Hazel, T., Hjernevic, R. & Fjeld, O. (2015). Equipment monitoring for temperature related failures using thermography cameras // Petroleum and Chemical Industry Committee Conference, 9 p.
20. Dragomir, A., Adam, M., Andrusca, M. & Pantelimon, R. (2014). About thermal stresses monitoring and diagnosis of electrical equipment // International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, 289-294.
21. Dutta, T., Sil, J. & Chottopadhyay, P. (2016). Condition monitoring of electrical equipment using thermal image processing // First International Conference on Control, Measurement and Instrumentation, 311-316.

22. Sha, M., Taib, S. (2012). Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography // *Infrared Physics & Technology*, 236-244.
23. Nisan, A.V. (2010). X-ray control of printed units / A.V. Nisan, E.A. Nisan. - M: Moscow State Institute of Electronics and Mathematics, 68.
24. Kljukvin, N.A. (2010). Practical aspects of electrical control of assembled printed modules // *Newsletter "Surface Mounting"*. № 2, 36.
25. Volkenstein, S.S. (2010). Quality control and diagnostics of permanent joints on printed circuit boards / S.S. Volkenstein, V.L. Lanin, A.A. Khmyl // *Printed installation*. № 3, 33-37.
26. Lanin, V., Volkenstein, S.S. & Khmyl, A. (2010). Methods of control and diagnostics of hidden defects in electronic products // *Components and technologies*. № 2, 137-142.
27. Dr. Ostendorf, F., Wielsch, T. & Dr. Reiniger, M. (2014). Reliability assessment and field failure predictions – a prognostic model for separable electrical contacts // *International Conference on Electrical Contacts*, 278-284.
28. Zhou, Y., Lan, F. & Kong, Z. (2015). The effect of electrical joint compound on the life of aluminium power connector // *Prognostics and System Health Management Conference-Beijing*, 6.
29. Ren, W., Zhi, H., Xue, Sh. & Zhai, G. (2014). Numerical simulation and experimental verification for contact spot temperature and electrical contact resistance of rivet contacts // *27th International Conference on Electrical Contacts*, 158-163.
30. Kumari, S., Kumar-M, P. & Vuralidhar, M. (2016). Reliability estimation of distribution components – contactors // *Asia-Pacific Power and Energy Conference*, 2066-2071.
31. Vorobiev, VE, Kucher, V.Ya. (2004). Forecasting the service life of electric machines: Written lectures. - St. Petersburg: SZTU, 56.
32. RD 26.260.004-91 "Methodical instructions for forecasting the residual life of equipment for changing the parameters of its technical state during operation":

Approved and put into operation by Khimneftemash Concern 01.01.1992. -

Access mode:

https://znaytovar.ru/gost/2/RD_2626000491_Metodicheskie_uk.html.

33. Naumov, A.E. (2009). Automated system for predicting the residual life of contact connections of electrical networks in conditions of a limited amount of diagnostic information: dis. Candidate of technical sciences: Tver, 173 p.
34. Izmailov, V.V., Novoselova, M.V. & Naumov, A.E. (2009). Prediction of the Residual Resource of Electro-Contact Compounds on the Basis of Statistical Analysis of Thermal Imaging Monitoring Data // Electrical Engineering. № 5, 59-63.
35. Izmailov, V.V. (2012). A mathematical model for predicting the technical state of electrocontact connections / V.V. Izmailov, M.V. Novoselova // Control. Diagnostics. № 2, 38-43.
36. Izmailov, V.V., Novoselova, M.V. & Naumov, A.E. (2008). Algorithm for predicting the resource of an electrocontact connection // Software products and systems. № 4, 118-120.
37. Makarov, A.N., Korneev, K.B. (2008). Program environment for predicting probabilistic reliability of elements of complex electrical systems // Software products and systems. № 1, 14-16.

Заказная спецификация приборов

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации, завод – изготовитель	Тип и марка прибора	Кол-во, шт.
1	2	3	4
1а	Термометр показывающий, НСХ Pt100, класс точности 1, предел основной допускаемой приведенной погрешности $\pm 1\%$, диапазон измерений $-50...200\text{ }^\circ\text{C}$, длина монтажной части 100 мм. НПП «Элемер»	ТКП-100-М1	1
2а	Датчик влажности, диапазон измерения относительной влажности 0...98 %, предел основной допускаемой приведенной погрешности $\pm 3\%$, напряжение питания 18-36 В, выходной сигнал 4-20 мА, длина зонда 160 мм. НПК «Рэлсиб»	ДВТ-03.м	1
3а	Реле двухпозиционное, время срабатывания 20 мс, время отпускания 15 мс, допустимый ток 5-10 А, частота срабатывания 0,167 Гц. Компания «Электроника и связь»	РЭН35	1
4а	Цифровой мультиметр, диапазон измерения переменного тока 0,1 мкА – 10 А. Компания «Арстест» Контроллер программируемый Simatic S7-200. Компания «Сименс»	Mastech MY65	1
1	Блоки (модули) контроллера: Центральный процессор	CPU 221	1
2	Модуль ввода аналоговых сигналов	EM 231	1
3	Модуль питания	Sitop Smart	1
ФЮРА.421000.010 С2			
Исполнил	Таханова А.А.	Стад.	Лист
Проверил	Кравченко Е.В.		Листов
			1
		ТПУ ЭНИН Группа 5БМ5Д	
		Спецификация приборов и средств автоматизации	