

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
Институт естественных и точных наук
Кафедра «Физической электроники»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н.

_____ /Гуревич С.Ю./

«__» _____ 2017г.

Исследование электромагнитных полей, создаваемых пленочным
нагревателем ПЛЭН
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ
ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР

Руководитель, доцент

_____ /Забейворота Н.С./

"__" _____ 2017г.

Автор проекта,

студент группы ЕТ-473

_____ /Щербинин В.В./

"__" _____ 2017г.

Нормоконтролер, преподаватель

_____ /Колмакова Н.С./

"__" _____ 2017г.

Челябинск 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
Институт естественных и точных наук
Кафедра «Физической электроники»

Специальность 210100.62 Электроника и наноэлектроника

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Гуревич С.Ю.

“ ____ ” _____ 2017 г.

Задание

по дипломному проекту студента

Щербинина Виктора Витальевича

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема проекта: «Исследование электромагнитных полей, создаваемых
_____ пленочным нагревателем ПЛЭН»

утверждена приказом по университету от “ ____ ” _____ 20__ г. №

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 9.06.17

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

3. Исходные данные к проекту

Технические характеристики пленочного нагревательного элемента ПЛЭН

Измерения уровней электромагнитных полей пленочного нагревателя ПЛЭН

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

<u>1. Литературный обзор</u>	8
<u>1.1 Пленочные электронагреватели</u>	8
<u>1.2 Электромагнитные поля промышленной частоты</u>	10
<u>1.3 Моделирование электромагнитных полей</u>	11
<u>1.4 Приборные методы исследования электромагнитных полей</u>	12
<u>1.5 Действие электромагнитных полей на человека</u>	19
<u>1.6 Способы защиты от электромагнитных излучений</u>	22
<u>1.7 Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы</u>	25
<u>2. Моделирование электромагнитных полей пленочного нагревательного элемента ПЛЭН.</u>	27
<u>2.1 Расчет магнитного поля</u>	27
<u>2.2 Расчет электрического поля</u>	34
<u>2.3 Выводы по разделу</u>	40
<u>3. Измерения уровней физического фактора электромагнитного поля промышленной частоты.</u>	42

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Презентация (20 слайдов), созданный в программе Microsoft Office PowerPoint

6. Дата выдачи задания _____ 25.09.2016 г.

Руководитель _____ / Забейворота Н. С. /

Задание принял к исполнению _____ / Щербинин В. В. /

Календарный план

п/п	Наименование этапов дипломного проекта	Срок выполнения этапов проекта	Отметка о выполнении
1	Обзор литературы	15.04.17 г.	
2	Теоретическая часть	10.05.17 г.	
3	Экспериментальная часть	25.05.17 г.	
4	Оформление	15.06.17 г.	

Зав. кафедрой _____ / С.Ю. Гуревич/

Руководитель проекта _____ / Н.С. Забейворота/

Студент-дипломник _____ / В.В. Щербинин/

Аннотация

Щербинин В.В. Исследование
электромагнитных полей, создаваемых
пленочным нагревателем ПЛЭН.
Челябинск: ЮУрГУ ИЕТН, ЕТ – 473, 55 с,
библиографический список 15 наим.

С развитием современной техники и электроники повышается актуальность пленочных нагревателей. Они находят широкое применение в разных сферах деятельности человека. Но наряду с этим, несмотря на их очевидные преимущества, существуют и недостатки, которыми невозможно пренебречь. К одному из главных недостатков относится наличие электромагнитных полей, которые создают токи, протекающие через резистивный материал проводников.

Главной задачей данной работы стало исследование этих полей. В ходе работы были проведены необходимые вычисления и расчеты, которые в дальнейшем позволили оценить степень влияния таких полей на организм человека и окружающую среду в целом.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
1. Литературный обзор	8
1.1 Пленочные электронагреватели	8
1.2 Электромагнитные поля промышленной частоты	10
1.3 Моделирование электромагнитных полей	11
1.4 Приборные методы исследования электромагнитных полей.....	12
1.5 Действие электромагнитных полей на человека	19
1.6 Способы защиты от электромагнитных излучений	22
1.7 Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы.....	25
2. Моделирование электромагнитных полей пленочного нагревательного элемента ПЛЭН.	27
2.1 Расчет магнитного поля.....	27
2.2 Расчет электрического поля.....	34
2.3 Выводы по разделу	40
3. Измерения уровней физического фактора электромагнитного поля промышленной частоты.....	42
Заключение	51
Библиографический список.....	52
Приложение А.	54
Приложение Б.	55

Введение

В настоящее время пленочные нагреватели широко используются в разных странах. Они являются хорошей альтернативой современным нагревательным системам, как с экономической точки зрения, так и с точки зрения практичности, надежности и долговечности.

Пленочные нагреватели ПЛЭН представляют собой многослойную структуру. Основой такой структуры, как правило, является слой ламината, который в тоже время выполняет функции изоляции. Поверх данного слоя, располагаются еще несколько слоев, которые включают в себя слой алюминиевой фольги, выполняющей роль рассеивателя лучистой энергии и слой, на котором расположены сами проводники. Между всеми слоями располагается слой диэлектрика, материалом которого также выступает ламинат.

Нагревательные элементы, как и любой проводник с током, создают вокруг себя электромагнитные поля. В работе рассматривается влияние таких полей на окружающую среду, и в том числе на организм самого человека. Также были рассмотрены методы, и средства защиты от электромагнитных полей.

В ходе работы была построена геометрическая модель нагревателя и проведен расчет электромагнитных полей вокруг нагревательных элементов с использованием программного комплекса Ansys Maxwell.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1. Литературный обзор

В данной части представлен обзор литературы по темам, на которые опирается выпускная квалификационная работа: представлены общие сведения о способах и механизмах воздействия электромагнитных полей на человека; также описаны методы и средства защиты от различных электромагнитных излучений.

1.1 Пленочные электронагреватели

Пленочные электронагреватели ПЛЭН являются одним из множества системам лучистого обогрева. Исследуемый тип пленочного электронагревателя разработан компанией ООО «ЭСБ - Технологии». Такая система предназначена, как правило, для обогрева жилых и производственных помещений, но так же может найти применение и в других сферах.

Исследуемый пленочный электронагреватель представляют собой многослойную структуру. Основой является слой ламината толщиной 125 мкм, затем идет слой алюминиевой фольги толщиной 12 мкм выполняющий роль рассеивателя лучистой энергии. Затем следует слой ламината толщиной также 125 мкм, на которой уложены проводники, выполненные из сплава 20НХГ-Н. Верхним слоем служит слой ламината, с теми же параметрами что и у остальных слоев.

Источником электромагнитного излучения являются проводники нагревательного элемента, через который пропускается ток промышленной частоты 50 Гц. Действующее значение тока протекающей через проводники составляет 0.8 А.

В основу работы пленочного инфракрасного электронагревателя заложен принцип, в соответствии с которым, при протекании тока через

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

резистивный материал проводников, происходит их нагрев до температуры 45°C. Выделенная проводниками теплота, нагревает алюминиевую фольгу, экран, которой, в свою очередь, излучает инфракрасный спектр с длиной волны 9 мкм.

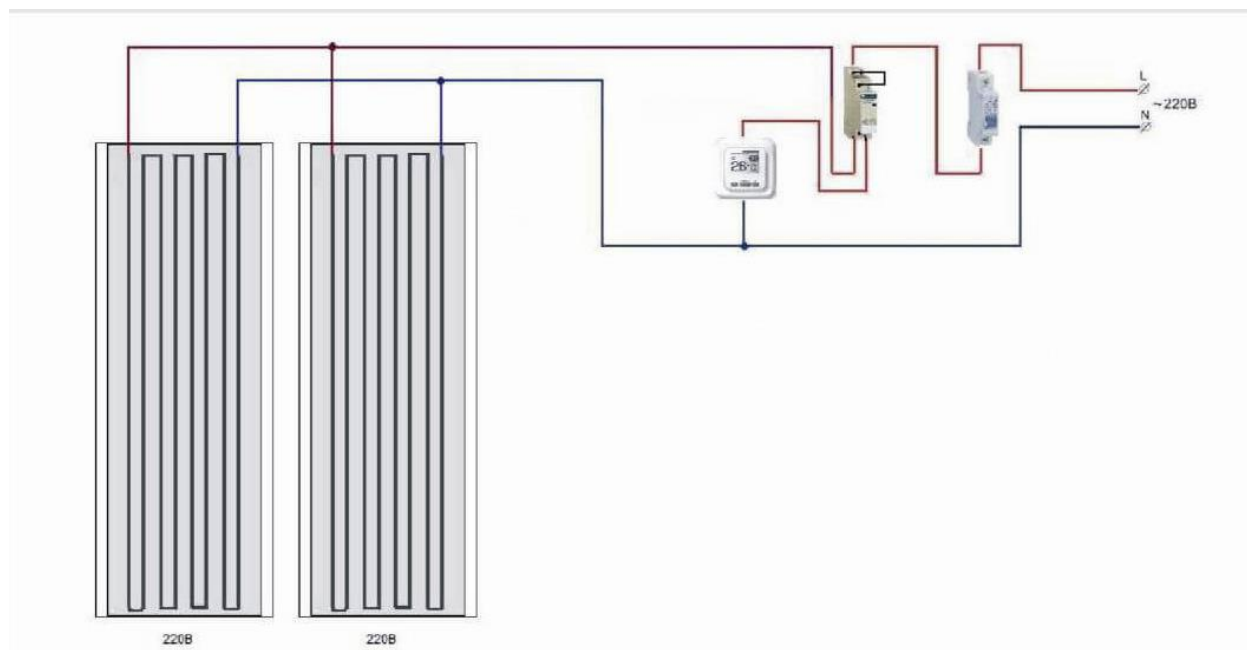


Рис.1 Схема подключения ПЛЭН через модульный контактор.

Технические характеристики ПЛЭН:

Таблица 1

Толщина нагревательного элемента:	не более 0,4 мм.
Масса полотна:	не более 550гр/м.кв
Температура нагрева:	не более 45°C
Удельная мощность потребления:	150 и 175 Вт/м.кв. ± 5%
Напряжение питания:	12-220 В
КПД перехода электрической энергии в тепловую:	98 %

Материал нагревателя:	сплав 20НХГ-Н
Материал электроизолирующий:	трехслойный ПЭТ
Материал отражателя- распределителя:	Алюминий
Гарантийный срок наработки на отказ:	не менее 50 лет

1.2 Электромагнитные поля промышленной частоты

Электромагнитные поля в диапазоне частот от 0 до 3000 Гц обычно называются электромагнитными полями промышленной частоты. Источниками электромагнитных излучений промышленной частоты являются в первую очередь системы передачи и распределения электроэнергии (электростанции, трансформаторные подстанции, линии электропередачи, электрические сети административных зданий и т. д.), а также электрооборудование (электродвигатели, контроллеры, и т. д.) и собственно электропроводку производственного оборудования.

На промышленной частоте электрические и магнитные поля можно считать не связанными друг с другом и рассматривать отдельно. Электрические поля создаются зарядами на проводниках, в то время как магнитные поля – токами в проводниках.

Источником электромагнитных полей является переменный ток. Электромагнитное поле характеризуется напряженностью (В/м) и плотностью потока энергии (Вт/м²). Электромагнитные волны, генерируемые электромагнитным полем, характеризуются частотой колебаний (Гц). При токе промышленной частоты электромагнитное излучение при напряжении более 400 кВ считается опасным.

Вокруг любого источника электромагнитного излучения образуются три зоны действия: ближняя (зона индукции), промежуточная (зона помех) и дальняя (волновая зона).

В зоне индукции, где электрические и магнитные поля существуют независимо друг от друга, напряженность электрического поля уменьшается обратно пропорционально кубу расстояния от источника излучения, а интенсивность магнитного поля обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника. В волновой зоне, где имеется корреляция между электрической и магнитной составляющими электромагнитного поля, интенсивность электромагнитного поля уменьшается пропорционально расстоянию от источника излучения.

1.3 Моделирование электромагнитных полей

На данный момент существует два основных метода моделирования электромагнитных полей. Первым методом является метод конечных элементов, вторым – метод конечных разностей.

В случае метода конечных элементов, область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество элементов. В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций в узлах являются решениями данной задачи и заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно ищутся из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами. После чего, данные коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Далее составляется система линейных алгебраических уравнений. В такой системе, количество уравнений равно

количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, которое прямо пропорционально количеству элементов.

Метод конечных разностей есть метод решения дифференциальных уравнений, который основан замене производных систем алгебраических уравнений.

Для решения задачи методом конечных разностей на расчётной области строится сетка, затем выбирается конечная система алгебраических уравнений и для каждого узла сетки записывается дифференциальное уравнение.

Следующим этапом является затем учёт краевых условий (для краевых условий второго и третьего рода так же строится некоторая разностная схема). Результатом является получение системы линейных алгебраических уравнений, решая которую получают значения решения в узлах.

1.4 Приборные методы исследования электромагнитных полей

В данном разделе представлены приборы для измерения электромагнитных полей. Основное направление использования приборов - проведение измерений физических факторов окружающей среды на производстве, на обследуемых территориях, в жилых и общественных зданиях. В основном это проведение производственного контроля, аттестация рабочих мест, научные исследования влияния производственных физических факторов на человека. Измерители электромагнитных полей применяются для контроля опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах, для сертификационных испытаний техники.

Измерители напряженности электромагнитных полей перекрывают практически весь частотный диапазон - от электростатического и постоянного магнитного поля, через низкочастотные электромагнитные поля промышленной частоты 50 Гц и электромагнитное излучение видеодисплейных терминалов персональных компьютеров, до потоков СВЧ-излучения.

Динамические диапазоны измерения напряженности электромагнитных полей выбраны с учетом действующих нормативов по уровням электромагнитных полей в быту и на производстве.

Измеритель переменных электрических полей ИЭП-05

Измеритель переменных электрических полей ИЭП-05 предназначен для измерения напряженности электрического поля переменных электромагнитных полей, создаваемых различными техническими средствами, в том числе компьютерами, при аттестации рабочих мест по условиям труда.



Рис. 2 Измеритель электрических полей ИЭП – 05.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Таблица 2.

Технические характеристики прибора:

Диапазоны частот измеряемых сигналов:	5 Гц ... 2 кГц 2 кГц ... 400 кГц
Диапазоны измерений:	7 В/м - 2000 В/м 0,7 В/м - 200 В/м
Основная погрешность измерения	не более 20 %

Предел измерения электрического поля данного прибора составляет 2000 В/м, что позволяет использовать его при измерении фона промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах с ПЭВМ в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Измеритель магнитного поля ИМП-05

Измеритель магнитного поля ИМП-05 предназначен для измерения электромагнитных полей, создаваемых различными техническими средствами.

Измеритель переменных магнитных полей ИМП-05 может использоваться для измерения среднеквадратического значения магнитной индукции электромагнитного поля независимо от природы его возникновения.



Рис. 3 Измеритель магнитных полей ИМП – 05/1.

Таблица 3.

Технические характеристики прибора:

Диапазоны частот измеряемых сигналов:	5 Гц ... 2 кГц 2 кГц ... 400 кГц
Диапазоны измерений:	70 нТл ... 2000 нТл 7 нТл ... 200 нТл
Основная погрешность измерения	не более 20 %

Измеритель электромагнитного поля ВЕ-метр АТ-002

Измеритель электромагнитного поля ВЕ-метр АТ-002 предназначен для проведения экспрессных измерений среднеквадратичного значения осцилляций электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля в жилых и рабочих помещениях.

В целях аппаратного обеспечения санитарно-гигиенического надзора и контроля за выполнением СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы" амплитудные и частотные диапазоны измерений выбраны с соответствии с приведенными в указанных документах допустимыми значениями параметров неионизирующих электромагнитных излучений.



Рис. 4 Измеритель электромагнитного поля ВЕ-метр АТ-002.

Таблица 4.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Технические характеристики прибора:

Пределы измерения электрического поля:	5 Гц-2 кГц 2 кГц – 400 кГц
Пределы измерения магнитного поля:	5 Гц-2 кГц 2 кГц - 400 кГц
Основная погрешность измерения	20 %

Измеритель электромагнитного поля ВЕ-метр АТ-003

Измеритель ВЕ-метр АТ-003 представляет собой средство измерения для аттестации рабочих мест операторов ЭВМ в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и для сертификации видеотерминалов (ВДТ) по стандарту MPR и TCO 92/95.

Используется также для контроля норм по уровням электромагнитных полей промышленной частоты в жилых и офисных помещениях и на селитебных территориях в соответствии с МСанПиН 001-96, СанПиН 2.1.21002-00, ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07.

Измерения электромагнитных полей производятся в трех диапазонах частот: на промышленной частоте 50 Гц и в характерных для излучения видеодисплейных терминалах в диапазонах I : от 5 Гц до 2 кГц и II: от 2 кГц до 400 кГц.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17



Рис. 5 Измеритель электромагнитного поля VE-метр AT-003.

Таблица 5.

Технические характеристики прибора:

Диапазон частот	от 5 Гц до 2 кГц, от 2 кГц до 400 кГц, от 45 Гц до 55 Гц
Диапазон измерений напряженности электрического поля:	от 5 В/м до 1000 В/м; от 0,5 В/м до 40 В/м; от 5 В/м до 1000 В/м.
Диапазон измерений напряженности магнитного поля:	от 62,5 нТл до 5 мкТл; от 5 нТл до 500 нТл; от 62,5 нТл до 10 мкТл.

Пределы относительной погрешности значений напряженности электрического поля	$\pm 15 \%$
Пределы относительной погрешности значений напряженности магнитного поля	$\pm 15 \%$

1.5 Действие электромагнитных полей на человека

Способы воздействия электромагнитных полей на человека зависят от формы их проявления, модуляции, частоты, и других факторов.

Влияние внешнего электростатического поля обычно сопровождаются неравномерно распределенными электрическими зарядами на коже человека, в том числе свободными электрическими зарядами с внешней стороны и другими электрическими зарядами, которые произошли в результате явления электростатической индукции. На стороне более высокого потенциала внешнего электростатического поля группируются отрицательные электрические заряды, и на противоположной стороне - положительные электрические заряды.

Электростатическое поле также вызывает поляризацию молекул тканей, так как молекулы имеют постоянный дипольный момент и, кроме того, эффект электростатического поля вызывает изменение расположения электрических зарядов в молекуле. Соответствующие электрические заряды поляризованных молекул стремятся ориентироваться таким образом, чтобы высвободить электрические заряды.

Отделенные свободные электрические заряды и поляризованные связанные электрические заряды молекул ткани производят свое собственное

электростатическое поле, чей вектор направлен к вектору напряженности внешнего электростатического поля.

В человеческом теле, внешнее электростатическое поле ослабляется. Степень защиты внутренних тканей человеческого тела во многом зависит от количества свободных электрических зарядов. Для сравнения отметим, что в проводнике, все электроны свободны. Они обеспечивают хорошую электрическую проводимость. Переменное электрическое поле генерирует ток смещения в человеческом теле. Текущее значение и степень влияния определяются частотой, интенсивностью и равномерностью переменного электрического поля, электрическими характеристиками ткани тела.

Движение заряженных частиц и диполей и переменного электрического поля сопровождается образованием тепловых и физико-химических процессов.

Поглощение энергии поля связано с ионной проводимостью и диэлектрическими потерями. Движение ионов в организме человека сопровождается выделением тепла, величина которого прямо пропорциональна квадрату частоты колебаний, квадрату индукции магнитного поля и проводимости ткани.

В реальных условиях движение заряженных частиц определяется в человеческом организме не только под действием силы Лоренца, но и наличием электромагнитных полей, электрическими свойствами тканей и рядом других факторов.

Ввиду возможного влияния внешнего постоянного магнитного поля на ткани человеческого тела, следует отметить, что молекулам и структуре человеческого тела присущи диамагнитные и парамагнитные свойства. Их

магнитные проницаемости близки к единице, и они практически не имеют постоянного магнитного поля.

Переменное магнитное поле индуцируется в тканях и средах организма человека через ЭДС, под действием переменного потока вихревых токов. Эти токи возможны и являются наиболее важными биологически - активными факторами.

В ультравысоких, сверхвысоких и крайне высоких частотных диапазонах, преобразование энергии магнитного поля в тепловую энергию в теле человека связано не только с движением свободных заряженных частиц, но и с колебаниями диполей. Это объясняется следующим. Дипольные молекулы, которые участвуют в тепловом хаотическом движении, вращаются в разных направлениях. При наличии внешнего переменного электрического поля он передает энергию равную $pE\cos(\varphi)$, где p дипольный момент, E сила электрического переменного поля, φ есть угол между направлением дипольного момента и вектором электрического поля). Потери энергии телом тем больше, чем ближе период изменения переменного электрического поля к времени релаксации молекул.

Рост диэлектрических потерь на частоте подтверждается экспериментальными данными, показывающими, что потери, связанные с релаксацией молекул воды в тканях при частоте 1 ГГц, около 58% от общих потерь, на частоте 10 ГГц - около 90 %, а на частоте 30 ГГц - около 98%.

Глубина проникновения электромагнитных полей в организме человека зависит от длины волны. Ориентировочно предполагается, что глубина проникновения в организм человека является одной десятой от длины волны.

В связи с тем, что различные ткани поглощают неравное количество энергии, они также нагреваются до различных температур. Степень нагрева

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

частей человеческого тела также зависит от величины плотности потока энергии.

При небольших значениях, плотность потока тепловой энергии, выделяющаяся в теле человека, благодаря функционированию механизмов терморегуляции может отдаваться в окружающее пространство без заметного повышения температуры тела. Локальное воздействие электромагнитных полей на однородные части тела для естественного охлаждения поверхности тела приводит к интенсивному нагреву внешних слоев ткани. В этих условиях, внутренние области нагреваются слабее. Если существует принудительное охлаждение поверхности тела, то максимальное увеличение температуры существует во внутренних тканях на некотором удалении от поверхности тела человека, которое тем выше, чем больше длины волны электромагнитных полей и интенсивнее охлаждение поверхности тела.

Заметная термическая реакция организма человека на воздействие электромагнитных полей наступает при плотности потока энергии, превышающих 10 мВт/см². При меньших значениях плотность потока энергии температура тела человека не повышается, но при этом электромагнитные поля оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека.

1.6 Способы защиты от электромагнитных излучений

Наиболее эффективным методом защиты от электромагнитных полей является их уничтожение или ослабление в месте возникновения, что достигается использованием экранирования, уменьшением паразитного излучения, совершенствованием конструкций излучателей электромагнитных волн и т.д.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Инженерные меры защиты от электромагнитного поля и сверхвысоких частот включают в себя экранирование, уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей зоне за счет уменьшения мощности самого источника (если позволяют технические условия) и посредством использования согласованных нагрузок и поглотителей мощности.

Экранирование имеет свои особенности, благодаря своей физической природе, принципам работы и конкретным условиям использования экранов.

По типам экраны можно разделить на экраны закрытые, открытые или полузакрытые. Закрытые экраны относятся к экранам, в которых магнитные и электромагнитные поля могут проникать на противоположную сторону экрана только путем проникновения через него. Полузакрытые экраны – это экраны в которых поле обращается к противоположной поверхности экрана вышеуказанными способами.

Закрытые экраны наиболее эффективны. Если стенки экрана тонкие, а отверстия и щели незначительны, поле за экраном создается главным образом путем проникновения через стены. Замена материала и утолщение стенок могут в этом случае повысить эффективность экранирования. Напротив, если стены относительно толстые, а отверстия и прорезы значительны, то поле за экраном создается главным образом за счет проникновения через эти отверстия и щели. Поэтому утолщение стенок неэффективно.

Номинальное значение эффективности экранирования рассчитывается на основе требуемого подавления электромагнитных полей и определяется конкретными расчетными условиями оборудования. На основании найденного значения эффективности экранирования, а также с учетом допустимых пределов изменения параметров экранированных элементов

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

определяются материал, геометрические размеры экрана и условия размещения элементов внутри него. Следует иметь в виду, что эффективность экранирования в значительной степени зависит от количества неоднородностей и разрывов экрана, вызванных сварными швами, стыками, отверстиями и т. д.

В дополнение к обеспечению желаемой эффективности и в соответствии с общими техническими характеристиками при проектировании должны учитываться требования нормального теплового режима, пыле- и водостойкости, сопротивления вибрациям и ударным нагрузкам, эргономичности, технологическому дизайну.

Пассивное экранирование служит для уменьшения электромагнитных и электростатических взаимосвязей между полями и объектами под воздействием электромагнитных полей (рецепторов). Экраны предназначены для локализации в определенном количестве полей, создаваемых источниками электромагнитной энергии, для ослабления или исключения их влияния на рецепторы. В зависимости от цели разделяют экраны с внутренним возбуждением электромагнитных полей, в которых обычно помещается источник помех, и экраны внешнего электромагнитного поля, в которых рецепторы помещаются во внутреннюю полость. В первом случае экран предназначен для локализации поля в определенном объеме, во втором - для защиты от влияния внешних полей.

Экранирование как техническая мера призвана обеспечить надежность рецепторов - снизить уровень влияния электромагнитного поля, который препятствует эффективному функционированию рецепторов. Определение назначения экрана в каждом отдельном случае производится с учетом характера источника помех и рецепторов, их размеров, пространственного

размещения, типа применяемой связи и допустимой степени воздействия на экранированные элементы ,

Экранирование является одной из основных мер ослабления и локализации электромагнитных полей с целью повышения стабильности функционирования рецепторов. Однако эффективность экранирования в значительной степени зависит от фильтрации электрических сетей управления, сигнализации, связи и электропитания, проходящих через экран, входа и выхода из экрана. Эффективность любого экрана будет значительно уменьшена, если не предотвратить распространение электромагнитных колебаний снаружи и внутри экранированного пространства через эти сети. Поэтому фильтрация электрических сетей и линий является технической мерой, которая сопровождает электромагнитную защиту в подавляющем большинстве ее применений, а устройства, которые обеспечивают фильтрацию, должны быть неотъемлемой частью системы защиты.

Экранирование является одним из эффективных способов защиты рецепторов от воздействия мощного электромагнитного излучения. Необходимость экранирования должна быть оправдана и учитываться только после того, как были полностью исчерпаны методы проектирования оптимальной компоновки и размещения оборудования.

1.7 Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы

Таблица 6.

Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля:

Время воздействия за рабочий день, мин.	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ	ПДУ	ПДУ	ПДУ

	напряженности кА/м	Магнитной индукции мТл	напряженности кА/м	Магнитной индукции мТл
0 - 10	24	30	40	50
11 – 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

Таблица 7.

Предельно допустимые уровни воздействия периодического поля частотой 50 Гц:

Время пребывания, час.	Допустимые уровни МП, Н [А/м], В [мкТл] при воздействии	
	Общем	Локальном
1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

2. Моделирование электромагнитных полей пленочного нагревательного элемента ПЛЭН.

Для определения уровня электромагнитного излучения был проведен расчет электромагнитных полей вокруг нагревательных элементов. Наиболее точное решение задачи распределения поля может быть найдено численно, например, методом конечных элементов.

Для решения данной задачи указанным методом использовался программный комплекс Ansys Maxwell, ориентированный на решение задач электромагнетизма.

С помощью графического редактора Ansys Maxwell была построена геометрическая модель нагревателя шириной 510 мм и длиной 1 м. Такой нагревательный элемент содержит 12 проводников, соединенных в последовательную цепь.

2.1 Расчет магнитного поля

Силовые линии магнитного поля вокруг прямолинейного проводника с током представляют собой концентрические окружности с центром, лежащим на оси проводника. Причем вдоль всего проводника поле распределяется одинаково. В рассматриваемой задаче следует ожидать особенностей в распределении поля лишь в области соединения проводников друг с другом, однако эти соединения относительно коротки и поля их токов не способны существенно исказить поля токов основных проводников. В связи с этим было принято, что поле имеет осевую симметрию, и расчет проводился в 2D постановке задачи. Такой подход позволил существенно снизить время расчета и требуемую вычислительную мощность компьютера.

Для решения задачи расчета магнитного поля использовался решатель Eddy Current, позволяющий находить распределение в пространстве поля, созданного переменными токами. Решение для векторного магнитного потенциала находилось из уравнения поля, полученного из системы

уравнений Максвелла с учетом наличия в расчетной области вихревых токов [1], [3]:

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} (\nabla \times \mathbf{A}) = (\sigma + j\omega\varepsilon)(-j\omega\mathbf{A} - \nabla\varphi),$$

где \mathbf{A} — векторный магнитный потенциал, φ — скалярный электрический потенциал, μ — абсолютная магнитная проницаемость среды, ω — круговая частота, σ — удельная электрическая проводимость среды, ε — абсолютная диэлектрическая проницаемость среды. Причем правая часть этого уравнения представляет собой полный ток через поперечное сечение проводника. Предполагается, что все токи протекают в направлении перпендикулярном рассматриваемой плоскости ($xу$), при этом векторный магнитный потенциал будет иметь только компоненту по оси z . Поскольку в плоскости $xу$ токи не протекают, электрическое поле имеет только компоненту по оси z , а электрический потенциал постоянен для сечения каждого проводника.

Фрагмент расчетной области, разбитый на конечные элементы представлен на рис. 6.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

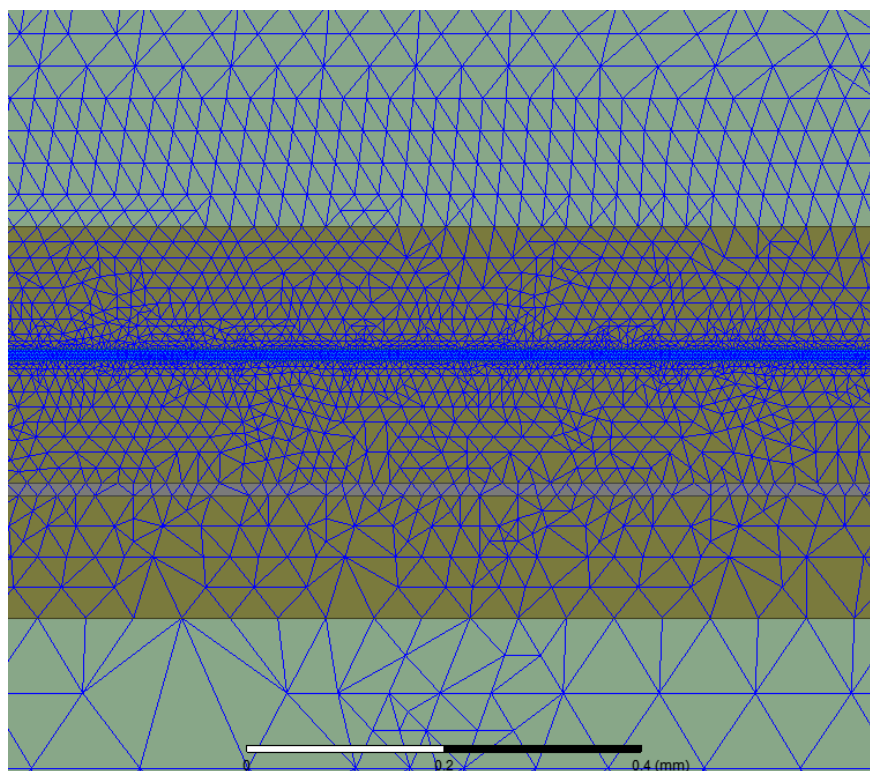


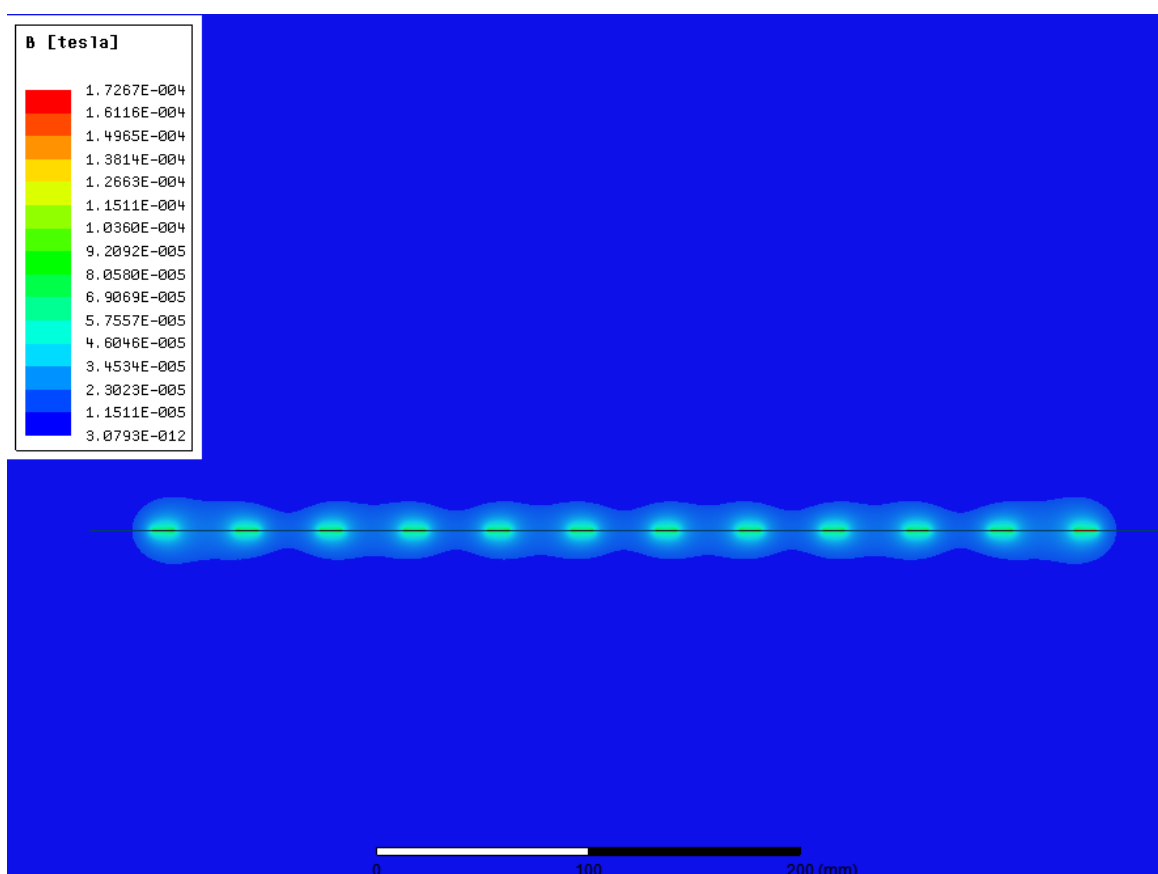
Рис.6. Фрагмент расчетной области, разбитой на конечные элементы

Для всех материалов были определены магнитные и электрические свойства. Электрическая проводимость проводников, выполненных из сплава 20НХГ–Н , была задана равной 10^6 См/м, электрическая проводимость алюминия $38 \cdot 10^6$ См/м. Изолирующим слоям были присвоены свойства полиэтилена. Электрическая проводимость изолятора принималась равной 0. Вокруг модели нагревателя был построен прямоугольный регион, ограничивающий расчетную область. Материал этого региона — воздух. Относительная магнитная проницаемость всех материалов модели принималась равной 1.

Для проводников модели задавались сторонние токи с амплитудой 1,15 А, изменяющиеся с частотой 50 Гц.

В качестве граничных условий было принято нулевое значение векторного магнитного потенциала на внешнем контуре расчетной области.

Картина магнитного поля, полученная в ходе решения задачи при амплитудном значении тока, представлена на рис. 7. Распределение магнитного поля по ширине нагревательного элемента на расстоянии 0,5 м от его поверхности представлено на рис. 8. На последнем рисунке показаны модули измеренных величин, маркерами отмечены границы нагревательного элемента. В ходе эксперимента были измерены максимальные значения индукции и напряженности магнитного поля на различных расстояниях от поверхности нагревательного элемента. Соответствующие зависимости представлены на рис. 9.



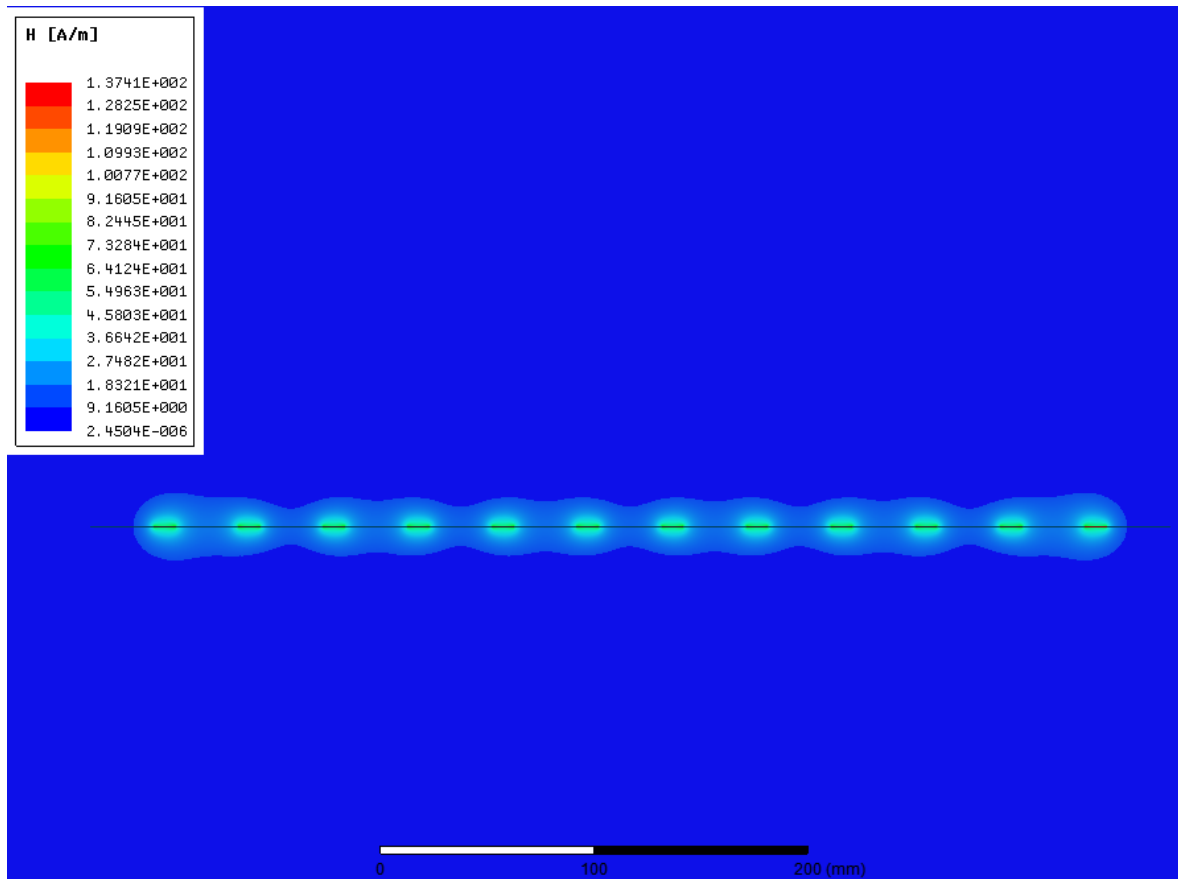
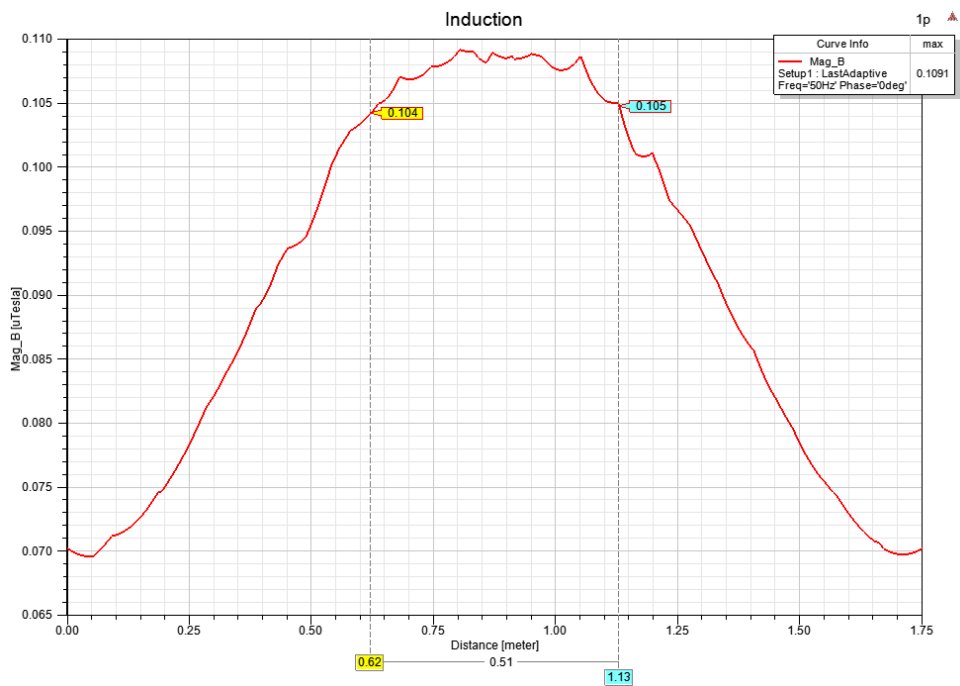
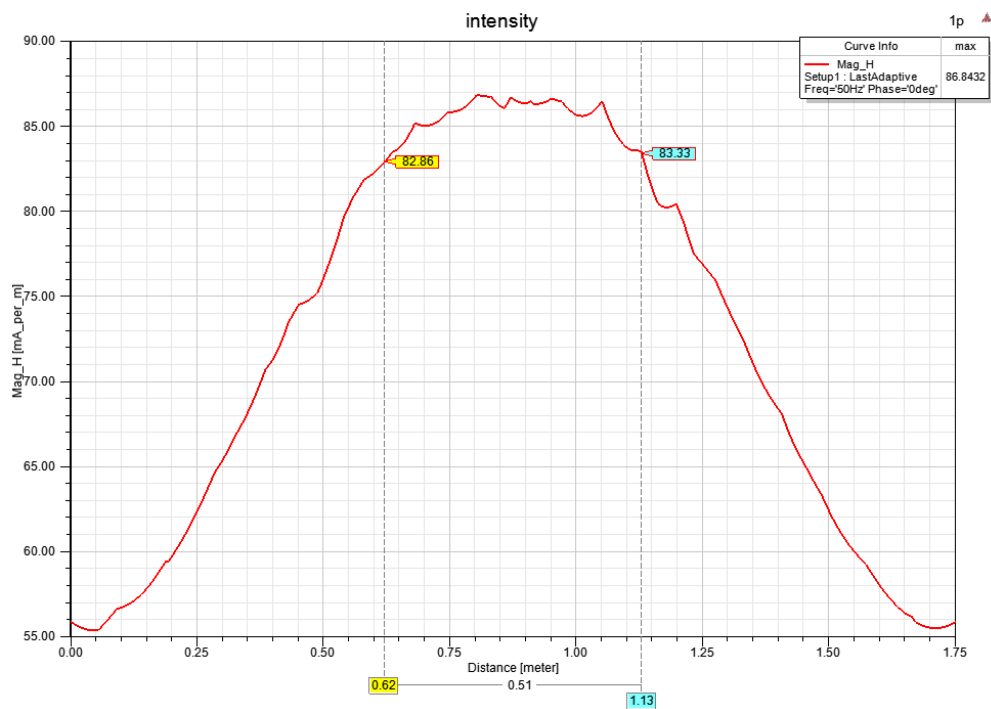


Рис. 7. Распределение магнитного поля нагревательного элемента



a)

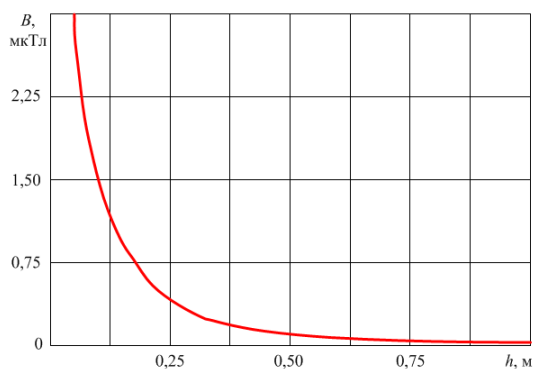


б)

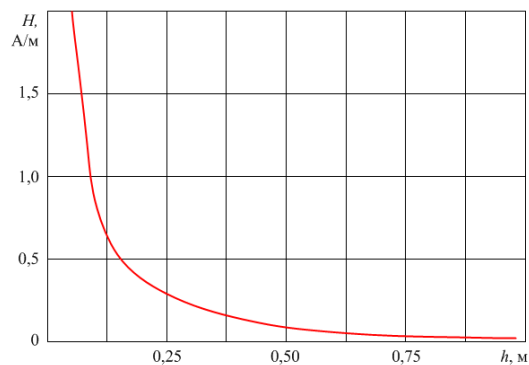
Рис. 8. Распределение магнитного поля по ширине нагревательного элемента на расстоянии 0,5 м от его поверхности:
 а) индукция магнитного поля, б) напряженность магнитного поля

Как следует из полученных зависимостей, магнитное поле достаточно быстро убывает при увеличении расстояния до поверхности проводников.

В ходе экспериментов на полевой модели было установлено, что амплитуда магнитного поля возрастает при увеличении числа нагревательных элементов, работающих одновременно. Причем разница становится тем значительнее, чем больше расстояние до нагревателя.



а)



б)

Рис. 9. Зависимость индукции (а) и напряженности (б) магнитного поля от расстояния до поверхности нагревательного элемента

Элементы располагались на расстоянии 20 мм друг от друга. При работе двух нагревательных элементов максимальная суммарная индукция магнитного поля на расстоянии 0,5 м от поверхности элемента оказалась на 40% больше аналогичного параметра для одного работающего элемента. При включении трех элементов индукция магнитного поля выросла на 8% по сравнению с двумя работающими элементами. Наконец, при включении четырех элементов индукция выросла лишь на 5%. В связи с описанными обстоятельствами в дальнейшем в рассмотрение принималась модель, составленная из трех нагревательных элементов.

Распределение магнитного поля над тремя нагревательными элементами на расстоянии 0,5 м от их поверхностей представлено на рис. 5.

Зависимости максимальных значений индукции и напряженности магнитного поля от расстояния до поверхности нагревателя, составленного из трех элементов, показаны на рис. 9. В заключение приведем значения индукции и напряженности магнитного поля нагревателя на расстоянии 0,5 м и 1 м от его поверхности (см. таблицу 6).

2.2 Расчет электрического поля

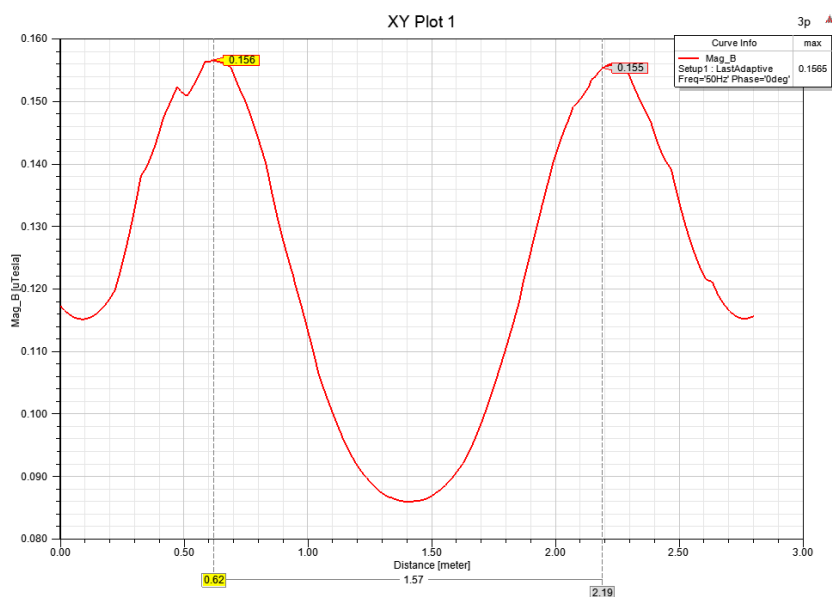
Расчет электрического поля проводился с помощью решателя 3D Electric Transient, позволяющего определять распределение изменяющегося во времени магнитного поля, обусловленного изменяющимися во времени потенциалами, полным зарядом или объемным зарядом, изменяющимися во времени токами. Решение полевой задачи находится из уравнения [2], [3]:

$$-\nabla \cdot \left(\varepsilon \nabla \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) - \nabla \cdot (\sigma \nabla \Phi) = 0,$$

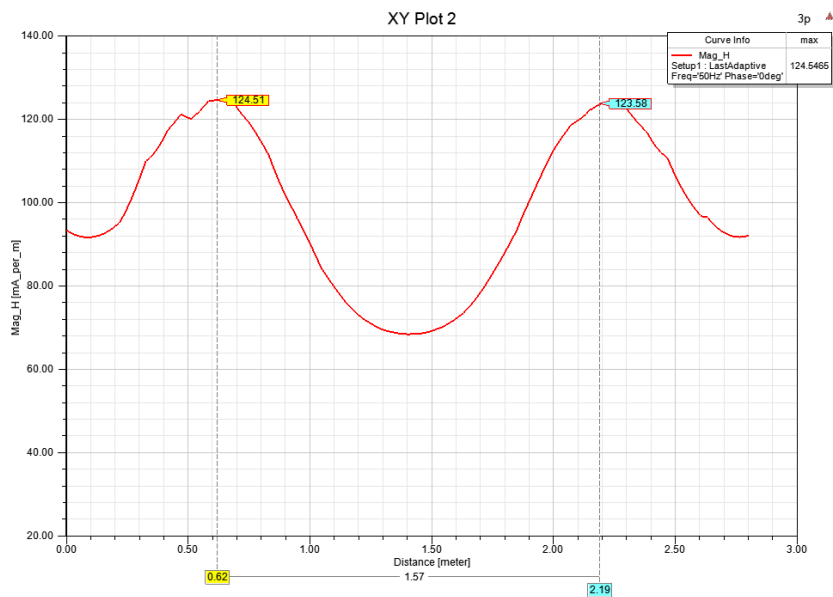
где Φ — магнитный поток.

По результатам решения определяются распределение электрического потенциала, напряженность электрического поля, плотности тока и поток вектора электрической индукции.

Геометрическая модель системы из трех нагревателей представлена на рис.12.



а)

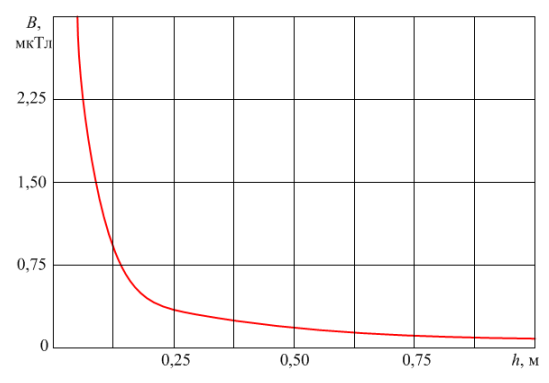


б)

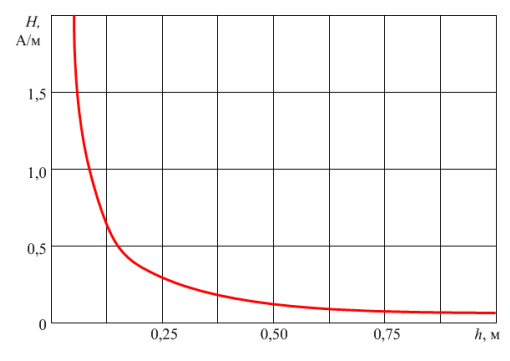
Рис. 10. Распределение магнитного поля по ширине трех нагревательных элементов

(общая ширина нагревателя 1,57 м) на расстоянии 0,5 м от их поверхностей:

а) индукция магнитного поля, б) напряженность магнитного поля



а)



б)

Рис. 11. Зависимость индукции (а) и напряженности (б) магнитного поля от расстояния до поверхности нагревателя, составленного из трех элементов

(общая ширина нагревателя 1,57 м)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 6

Расстояние h , м	B , мкТл	H , А/м
0,5	0,160	0,124
1,0	0,080	0,064

Для всех материалов были определены электрические и магнитные свойства. В качестве источника поля использовался ток в проводниках. Для каждого нагревателя ток определялся в соответствии с выражением:

$$i = 1,15 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$$

где t — время.

Модель была окружена призматическим регионом, к внешним границам которого были применены граничные условия Неймана. Материал региона — воздух.

Разбиение проводников модели на конечные элементы представлено на рис. 13. Распределение электрического поля над нагревательными элементами при амплитудном значении тока представлено на рис. 14 и рис. 15. Численные значения максимумов электрического поля на расстоянии 0,5 м и 1 м от поверхности проводников приведены в таблице 7. На рис. 16 представлена зависимость напряженности электрического поля от расстояния до нагревателя при максимальном токе в проводниках.

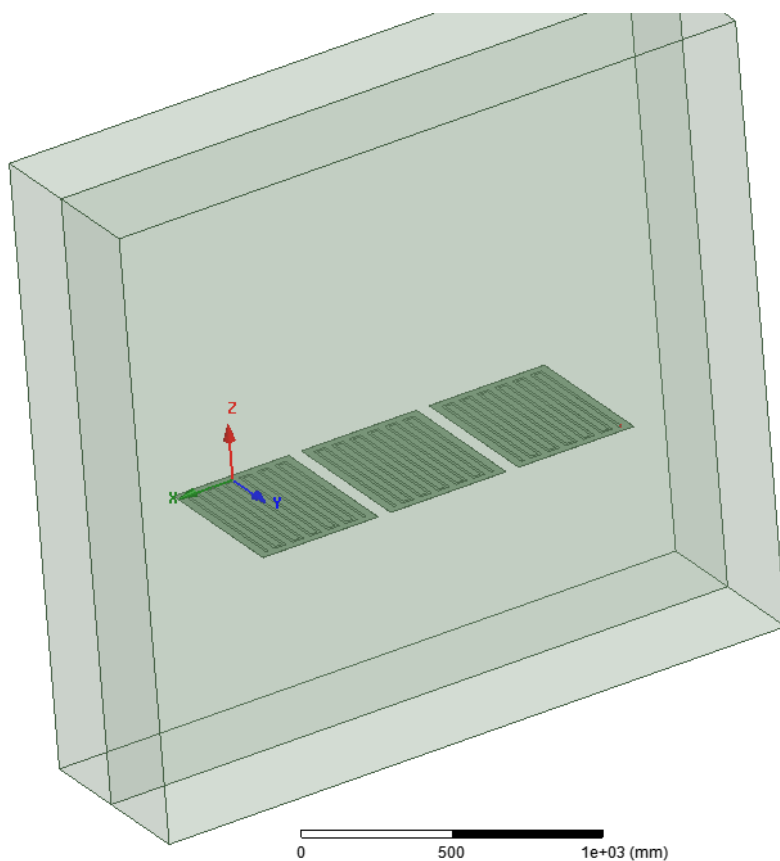


Рис. 12. Геометрическая модель системы из трех нагревателей

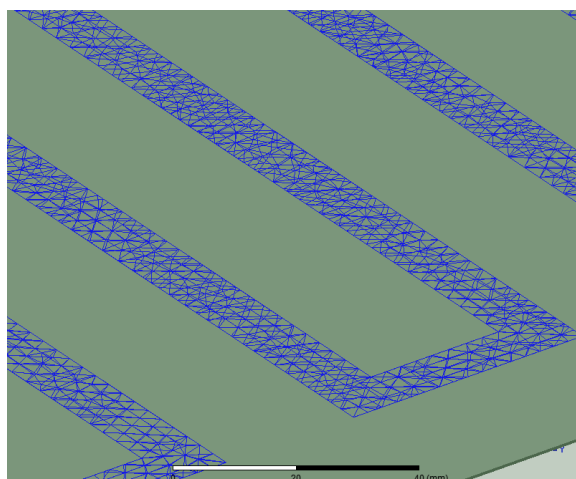


Рис. 13. Разбиение проводников нагревателя на конечные элементы

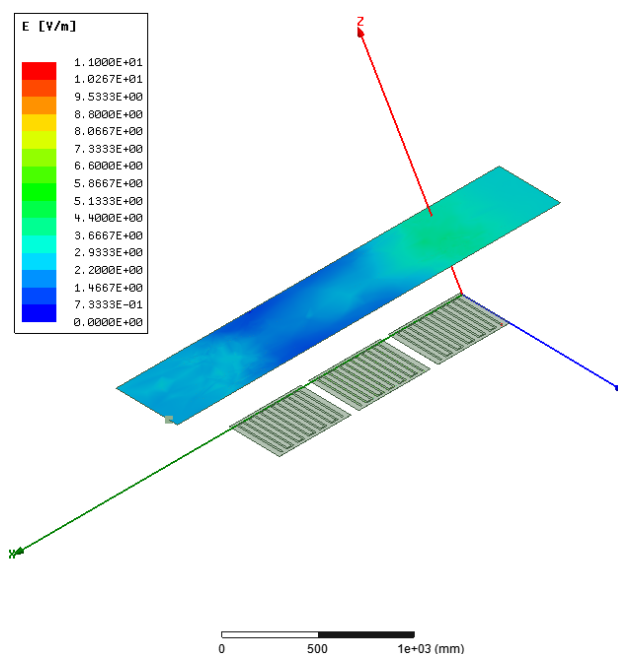
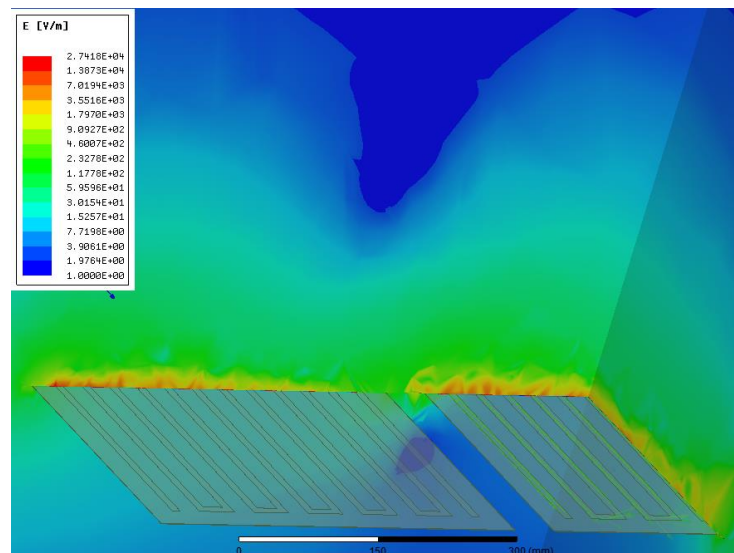
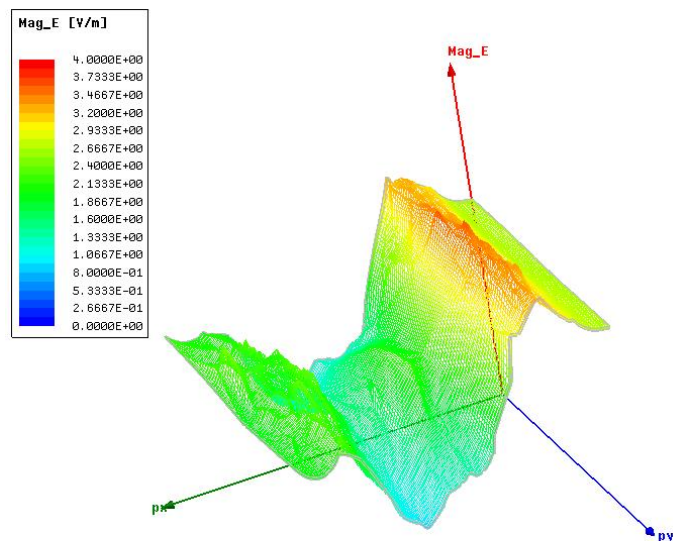
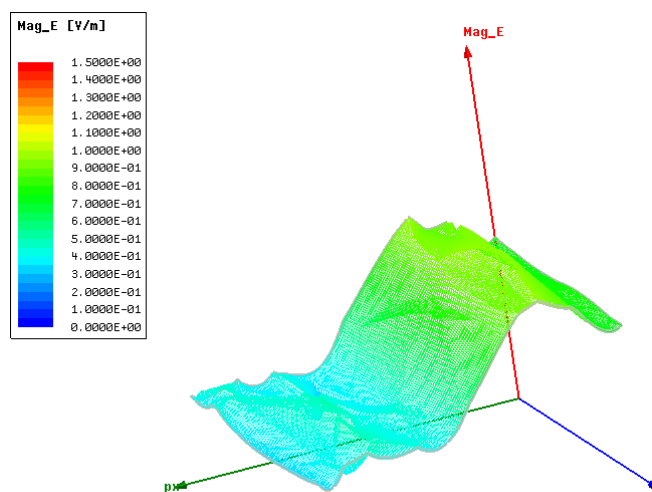


Рис. 14. Распределение электрического поля над нагревательными элементами



а)



б)

Рис. 15. Электрическое поле на расстоянии 0,5 м (а) и 1 м (б) от нагревательного элемента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

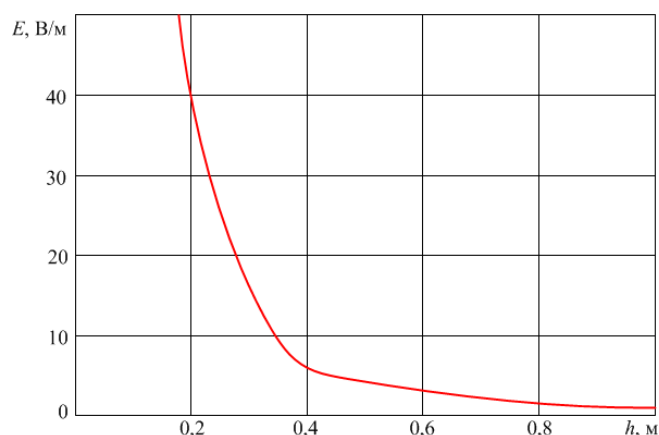


Рис. 16. Зависимость напряженности электрического поля от расстояния до поверхности нагревателя

Таблица 7

Расстояние h , м	E , В/м
0,5	4,0
1,0	1,0

2.3 Выводы по разделу

В соответствии с полученными результатами можно сделать следующие выводы:

1. Электромагнитное поле распределяется над поверхностью нагревательного элемента неравномерно: максимумы напряженности электрического и магнитного полей наблюдаются вблизи кромки нагревателя. Это объясняется тем, что поля, создаваемые разнонаправленными токами соседних проводников нагревателя, складываются векторно и в значительной степени ослабляют друг друга. Для крайних проводников компенсирующее воздействие меньше в силу того, что проводник с противоположно направленным током расположен в данном случае только с одной стороны от рассматриваемого проводника.

2. Максимальное значение напряженности поля зависит от числа работающих одновременно нагревательных элементов. Полученная в ходе численного эксперимента зависимость имеет нелинейный характер — после увеличения количества элементов до определенного числа дальнейший рост напряженности поля прекращается. Этот факт также можно объяснить тем, что общее поле нагревательной системы определяется суперпозицией полей отдельных проводников. При существенном отдалении проводников друг от друга их поля взаимодействуют слабее. Эксперименты на полевых моделях показали, что при ширине нагревательного элемента 0,51 м напряженность поля практически перестает увеличиваться при одновременном включении более трех элементов. Таким образом, можно говорить о том, что в нашем случае значимое взаимодействие наблюдается между полями проводников расположенных на расстоянии не более 1,5 м (примерная ширина трех нагревательных элементов) друг от друга.

3. Напряженности электрического и магнитного полей достаточно быстро убывают при удалении от поверхности нагревательного элемента. Наибольший градиент магнитного поля наблюдается на промежутке от 0 до 0,25 м от поверхности нагревателя. На этом промежутке напряженность магнитного поля снижается на 98% относительно напряженности поля вблизи поверхности нагревателя. Наибольший градиент электрического поля был получен на промежутке от 0 до 0,4 м от рассматриваемой поверхности, при этом напряженность электрического поля снижается на 99%.

3. Измерения уровней физического фактора электромагнитного поля промышленной частоты.

Наименование и адрес объекта где проводились измерения: 456534, Челябинская область, Сосновский район, с. Туктубаево, ул. Плановая, д. 5а, МДОУ – детский сад №35.

Таблица 8. Средства измерений и сведения о государственной поверке:

Наименование и тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства	Действительно до:	Диапазон измерений	Погрешность СИ
Измеритель напряженности электрических и магнитных полей ПЗ – 80 с цифровым преобразователем электромагнитного поля ПЗ -80 – ЕН500, в составе ИБ№ЭФ100382	№ЕН 10006	15/41 65	06.10.20 16	Напряженность ЭП: частота 50 Гц ($0,42 \cdot 10^{-3}$ -100) кВ/м; Напряженность МП: частота 50 Гц ($0,5 \cdot 10^{-4}$ -5) кА/м	± 20%

Данные устанавливающие метод проведения и оценок измеряемого фактора:

- Измеритель напряженности электрических и магнитных полей ПЗ – 80 с цифровым преобразователем электромагнитного поля ПЗ – 80 – ЕН500.

- Методические указания. МУК 4.3.2491-09 "4.3. Методы контроля.

Физические факторы. Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях.

Методические указания". Утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека,

Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации

Г.Г.Онищенко 28 февраля 2009 г:

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

- Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.1191-03 «2.2.4. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.01.2003 г. Введён в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19.02.2003 N 10;

- ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях.

Эскиз помещения (расположения точек измерения прилагается в Приложении А)

Дополнительные сведения:

Измерения напряженности МП проводились при $I_{max} - 0.8$ А Измерения напряженности ЭП проводились при $U_{max} 220$ В.

Таблица 9. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №2 при выключенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	0.81	0.55	1.04	500	480
Б	0.45	0.68	1.47	500	480
В	<0.42	0.60	1.75	500	480
Г	1.40	1.55	1.54	500	480
Д	<0.42	<0.42	<0.42	500	480

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность магнитного поля, А/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Б	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
В	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Г	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Д	<0.05	<0.05	<0.05	4	480

Таблица 10. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №2 при включенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	0.52	0.54	1.53	500	480
Б	0.70	0.85	1.25	500	480
В	1.05	0.95	1.72	500	480
Г	1.26	1.25	1.15	500	480
Д	0.57	0.78	2.22	500	480

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность магнитного поля, А/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Б	<0.05	<0.05	<0.05	4	480

В	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Г	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Д	<0.05	<0.05	<0.05	4	480

Таблица 11. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №10 при включенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	0.81	0.69	1.30	500	480
Б	0.45	0.6	1	500	480
В	<0.42	<0.42	0.85	500	480
Г	1.40	1.30	1.35	500	480
Д	<0.42	0.55	0.65	500	480

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность магнитного поля, А/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Б	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
В	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Г	<0.05	<0.05	<0.05	4	480
Д	<0.05	<0.05	<0.05	4	480

Наименование и адрес объекта где проводились измерения: МОУ СОШ «Полетаевская средняя общеобразовательная школа» по адресу: Челябинская область, Сосновский район п. Витаминное, ул. Лесная, 12.

Таблица 12. Средства измерений и сведения о государственной поверке:

Наименование и тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства	Действительно до:	Диапазон измерений	Погрешность СИ
Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ - 50	№937	808233	10.08.2017	Напряженность ЭП: (0,01 - 100) кВ/м; Напряженность МП: (0,1 - 1800) кА/м	± 15%

Данные, устанавливающие метод проведения измерений и оценок измеряемого фактора:

- Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ – 50. Паспорт №937. Порядок работы. ТУ-4221-001-27977473-98
- Методические указания. МУК 4.3.2491-09 "4.3. Методы контроля. Физические факторы. Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях. Методические указания". Утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г.Онищенко 28 февраля 2009 г;
- Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.1191-03 «2.2.4. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.01.2003 г. Введён в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19.02.2003 N 10:

- ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 Предельно допустимые уровни магнитных частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях

Эскиз помещения (расположения точек измерения прилагается Приложении Б)

Дополнительные сведения:

Измерения напряженности магнитного поля проводились при $I_{max} - 0.8 \text{ А}$.

Измерения напряженности ЭП проводились при $U_{max} - 220 \text{ В}$.

Таблица 13. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №4 при выключенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Б	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
В	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Г	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Д	<0.10	<0.10	<0.10	500	480

Место измерения	Напряженность магнитного поля, А/м
-----------------	------------------------------------

(рабочей точки)	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
Б	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
В	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
Г	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
Д	<0.1	<0.1	<0.1	4	480

Таблица 14. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №3 при выключенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Б	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
В	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Г	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Д	<0.10	<0.10	<0.10	500	480

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность магнитного поля, А/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
Б	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
В	<0.1	<0.1	<0.1	4	480

Г	<0.1	<0.1	<0.1	4	480
Д	<0.1	<0.1	<0.1	4	480

Таблица 15. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №4 при включенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Б	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
В	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Г	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Д	<0.10	<0.10	<0.10	500	480

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность магнитного поля, А/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.10	<0.10	0.13	4	480
Б	<0.10	<0.10	<0.10	4	480
В	<0.10	<0.10	0.12	4	480
Г	<0.10	<0.10	<0.10	4	480
Д	<0.10	<0.10	<0.10	4	480

Таблица 16. Результаты измерения фоновых уровней электромагнитных полей промышленной частоты помещения №3 при включенном оборудовании.

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность электрического поля, В/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Б	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
В	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Г	<0.10	<0.10	<0.10	500	480
Д	<0.10	<0.10	<0.10	500	480

Место измерения (рабочей точки)	Напряженность магнитного поля, А/м				
	0.5 м	1.5 м	1.8 м	ПДУ	Время воздействия
А	<0.10	<0.10	<0.10	4	480
Б	<0.10	<0.10	<0.10	4	480
В	<0.10	<0.10	<0.10	4	480
Г	<0.10	<0.10	0.11	4	480
Д	<0.10	<0.10	0.1	4	480

Выводы по разделу:

Напряженность электромагнитных полей по электрической и магнитной составляющей в обследуемых помещениях соответствует требованиям санитарных правил.

Заключение

На основании всех полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. Электромагнитное поле создаваемое проводниками распределено неравномерно. Это обусловлено разнонаправленностью токов, и как следствие, сложением и ослаблением полей возникающих вокруг проводников. Однако, данная особенность не применима по отношению к крайним проводникам, так как проводник с противоположно направленным током, расположен с другой стороны от рассматриваемого проводника.
2. Зависимость магнитной индукции и напряженности по отношению к расстоянию до нагревательного элемента имеет нелинейный характер. Величина напряженности и магнитной индукции быстро убывает при удалении от поверхности нагревательного элемента.
3. Полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными, и имеют один порядок. Значения напряженности и магнитной индукции электромагнитных полей соответствуют всем санитарно – эпидемиологическим правилам и нормативам.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Библиографический список

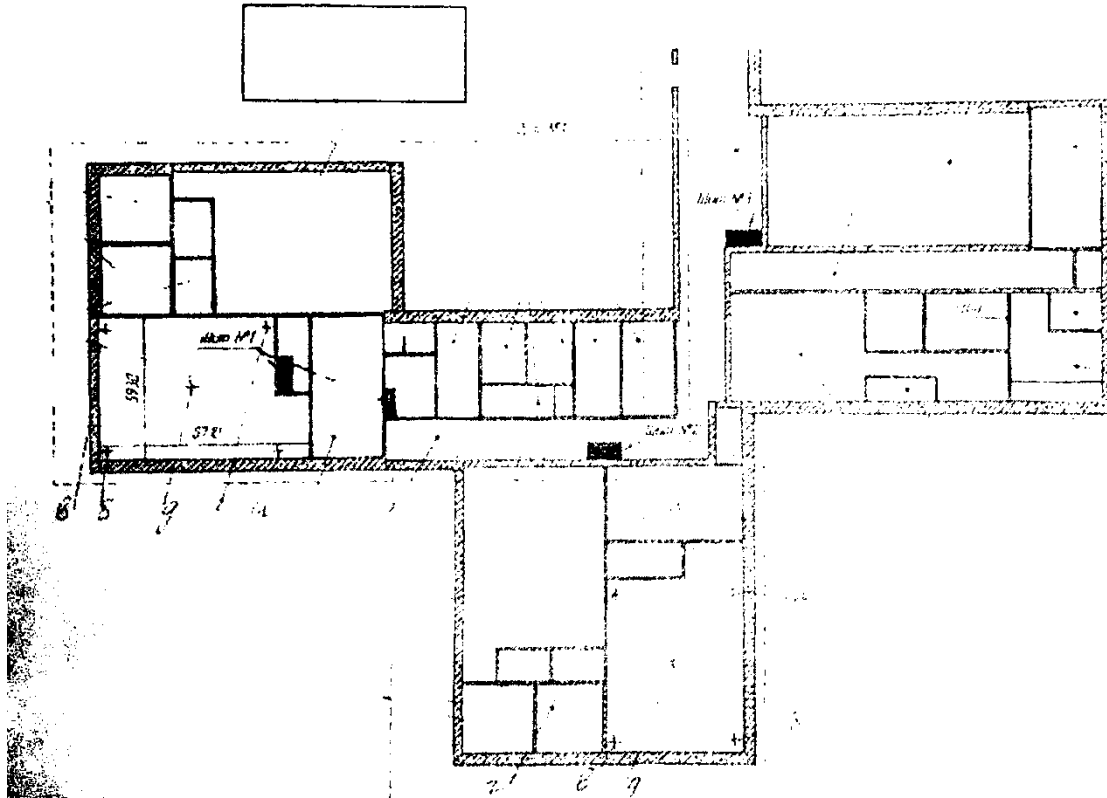
1. Аполлонский, С.М. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: учеб. пособие. / Каляда Т.В. , Синдаловский Б.Е. –Спб.: Политехника, 2006. – 263с.
2. Бабенко, А.Н. Электромагнитные поля и волны: учеб. пособие. / Йошкар – Ола, 2012. – 460с.
3. Богуш, В.А. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты./ Борботько Т.В. , Гусинский А.В. и др. под ред. Лынькова Л.М. – Мн.: Бестпринт, 2003. – 406с.
4. Бортновский, В.Н. Эколого – гигиенические основы электромагнитной безопасности. Учеб.-метод. Пособие. – Гомель: ГомГМУ, 2012. -36с
5. Воробьев, Г.С. Теория электромагнитного поля и основы техники СВЧ: учеб. пособие/ Соколов С.В., Писаренко Л.Д., Журба В.О. –Сумы: 2010.-420с
6. Гольдштейн, Л.Д. Электромагнитные поля и волны. Изд 2-е, перераб. и дополненное./ Зернов Н.В. – Москва: 1971. - 664с.
7. Довбыш, В.Н. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем./ Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М. –Самара: 2009. - 198с.
8. Давыдов, Б.И. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений./ Тихончук В.С., Антипов В.В. –М.:1984. – 176с.
9. Колмакова Н.С. Выпускная квалификационная работа по направлению электроника и наноэлектроника.: Методические указания / Челябинск: Издательский центр, 2015. – 34 с.
- 10.Никольский В.В. Теория электромагнитного поля. Учеб. пособие / - М.:1961 – 372с.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

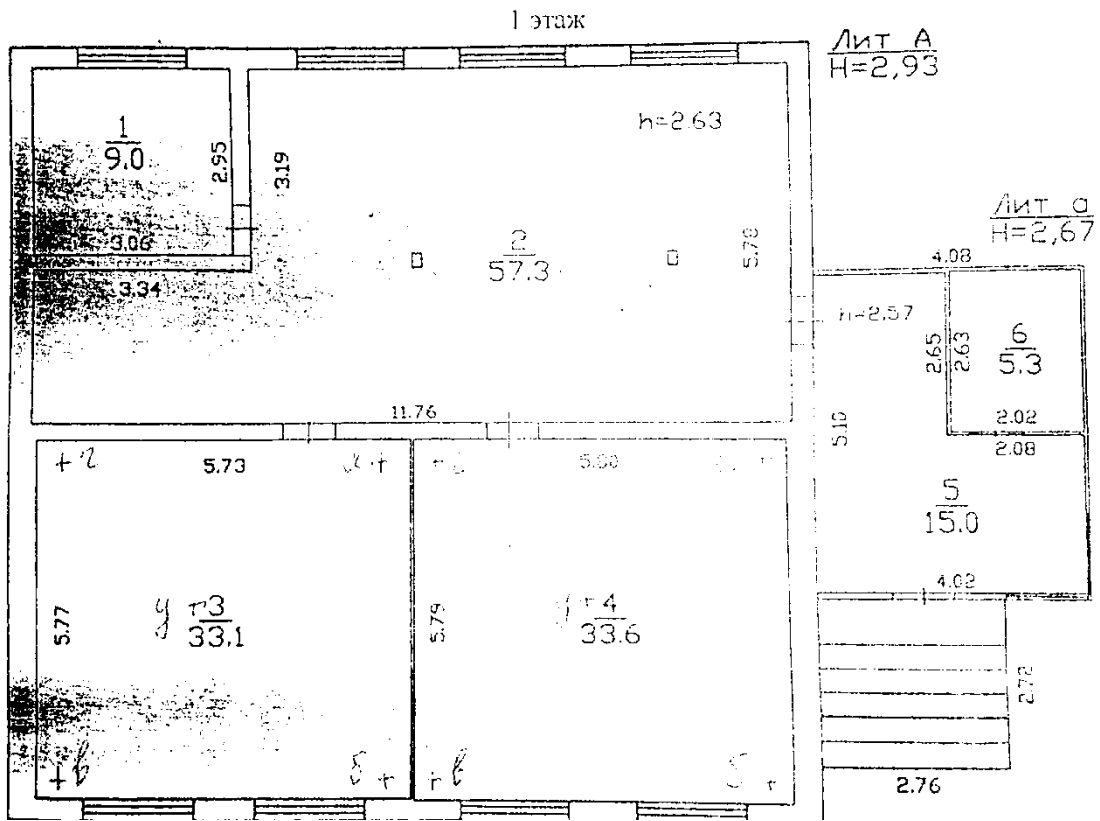
11. Панасюк, Ю.Н. Электромагнитные поля. Учеб. пособие / Пудовкин А.П. – Тамбов: 2014. – 96с.
12. Сипайлов, Г.А. Электрические машины: специальный курс / Г.А. Сипайлов, Е.В. Кононенко, К.А. Хорьков. – М.: Высшая школа, 1987. – 288 с.
13. Сильвестер, П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков / П. Сильвестер, Р. Феррари, пер. с англ. С.Н. Хотяинцева, под ред. Ф.Ф. Дубровки. – М.: Мир, 1986. – 232 с.
14. Юдин, В.И. Электромагнитные поля и волны. Учеб. пособие/ Останков А.В. – Воронеж: 2007. – 178с.
15. Maxwell Online Help. Руководство пользователя ANSYS Maxwell.

					ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

Приложение А.



Приложение Б.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-210100.62.2017.042 ПЗ ВКР

Лист

55