



Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра Промышленная электроника  
(наименование)

## **ЗАДАНИЕ**

### **на выполнение бакалаврской работы**

Студент Худжасаидов Сорбон Джомиевич, Элб-1601а

1. Тема Генератор для ультразвукового распыления топлива

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к бакалаврской работе \_\_\_\_\_

Напряжение питания генератора 24 В

Рабочая частота распылителя 66 кГц

Потребление тока генератора 50 мА

4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Аннотация

Введение

1.1 Обзор существующих решений.

1.1.1 Обзор и анализ схемотехнических решений.

1.2 Анализ технического задания.

2 Обоснование схемотехнического решения и выбор элементной базы

2. Разработка и расчет принципиальной электрической схемы

2.1 Описание схемы электрической принципиальной

2.2. Выбор элементной базы

2.2.2 Выбор разъемов питания.

2.2.3 Выбор активных элементов.

2.2.4 Выбор корпуса трансформатора.

3. Проектирование электронного модуля

3.1 Разработка схемы электрической принципиальной.

3.2 Выбор материала для печатной платы.

3.3 Расчет размеров контактных площадок и определение класса точности платы.

3.4 Расчет ширины печатных проводников и зазоров между элементами печатного рисунка.

3.5 Определение площади платы.

3.6 Разработка электронного модуля..

3.7 Расчет радиатора транзистора

3.8 Расчет надежности электронного модуля.

4. Проектирование конструкции аппарата и анализ его работоспособности

4.1 Выбор блока питания.

4.2 Описание корпуса распылителя.

5 Охрана труда

5.1 Определение основных потенциально вредных и опасных производственных факторов.

5.2 Технические решения и организационные мероприятия по безопасности и гигиене и производственной санитарии

5.2.1 Электробезопасность

5.2.2 Требования к освещенности рабочих мест при работе с измерительными приборами и электронно-вычислительной техникой.

5.2.3 Пожарная безопасность и профилактика.

Вывод

Список используемой литературы

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Обзор существующих решений

2. Схема электрическая принципиальная

3. Печатная плата

4. Сборочный чертеж печатного узла

5. Диаграммы работы

6. Влагозащищенный корпус

6. Консультант по разделам \_\_\_\_\_

7. Дата выдачи задания «25» декабря 2019 г.

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_  
(подпись)

В.П. Певчев

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра Промышленная электроника  
(наименование)

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН  
выполнения бакалаврской работы**

Студент С.Д. Худжасаидов

по теме Генератор для ультразвукового распыления топлива

Наименование работ	Плановый срок выполнения	Фактический срок выполнения	Отметка о выполнении	Подпись руководителя / консультанта
Анализ актуальности проекта, написание введения и обзорной главы. Разработка структурной схемы разрабатываемого устройства	10.02.2020	1.04.2020		
Разработка электрической принципиальной схемы . Написание остальных разделов работы.	25.04.2020	25.04.2020		
Оформление пояснительной записки и плакатов	30.05.2020	7.06.2020		

Руководитель бакалаврской работы

(подпись)

В.П.Певчев

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дипломный проект состоит из пояснительной записки объемом 52 страниц, включая 31 рисунок, 7 таблиц, 6 чертежа, 14 источник.

Целью работы была создать генератор ультразвуковых колебаний и создать для него влагозащищённый корпус. Устройство должно иметь низкую себестоимость и высокий КПД.

В дипломном проекте разработан ультразвуковой генератор и конструкция распылителя. Особенностью данного прибора является большой коэффициент полезного действия и недорогого ультразвукового генератора.

Распылители используются для распыления жидкостей в воздухе. Данный распылитель проектируется для агропромышленного комплекса, должен выполнять функцию поддержания влажности в определенном объеме. Целесообразно использовать излучатели, преимуществами которых являются дисперсность и равномерность аэрозоля, большая надежность работы. В основе работы ультразвукового распылителя пробуждение активного пьезоэлектрического элемента колебаниями частотой, величина которой не меньше 18 кГц. Чаще всего используют распылители с пьезокерамики.

Распылитель состоит из распылительного элемента на основе пьезокерамики и генератора, предназначен для возбуждение этого элемента. Ультразвуковые высокочастотные распылители используются (УВР) для образование капель жидкости малого диаметра в воздухе. Малый размер капель необходим для образования тумана высокой плотности. Длительный контакт пьезокерамики и жидкости значительно уменьшает время безотказной работы УВР, поэтому необходимо обеспечить изоляцию распылителя от жидкости.

Проведен анализ схемотехнических решений и рынка. Выбрано направление разработки схемотехнического решения. Выполнено разработки

структурной и электрической принципиальной схемы, выбрана элементная база, разработана печатная платы и конструкцию распылителя, проведены расчеты, подтверждающие его работоспособность.

## ABSTRACT

The graduation project consists of an explanatory note on 53 pages, including 31 figures, 7 tables, 6 drawings, the list of 14 references.

The aim of the work was to create a generator of ultrasonic vibrations and a waterproof housing for it. The device should have a low cost and high efficiency.

In the graduation project an ultrasonic generator and a sprayer design were developed. A feature of this device is its high efficiency and inexpensive ultrasonic generator.

This sprayer is designed for the agro-industrial complex. It must fulfill the function of maintaining humidity in a certain volume. It is advisable to use emitters, the advantages of which are dispersion and uniformity of the aerosol and its high reliability. The operation of the ultrasonic atomizer is based on the awakening of the active piezoelectric element by vibrations of frequency, the value of which is not less than 18 kHz. Most often, nebulizers with piezoceramics are used.

In conclusion we'd like to stress that the analysis of circuitry solutions and the market was made. The direction of the development of circuit solutions was selected. The development of the structural and electrical circuit diagrams has been completed, the components have been selected, the printed circuit board and the design of the sprayer have been developed, and calculations have been made to confirm its operability.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	12
1.1 Обзор существующих решений.....	12
1.1.1 Обзор и анализ схемотехнических решений.....	12
1.2 Анализ технического задания.....	19
2 ОБОСНОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ .....	22
2.1 Описание схемы электрической принципиальной.....	22
2.2 Выбор элементной базы .....	24
2.2.1 Выбор разъемов питания.....	24
2.2.2 Выбор активных элементов.....	24
2.2.3 Выбор корпуса трансформатора.....	24
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ.....	26
3.1 Разработка схемы электрической принципиальной.....	26
3.5 Определение площади платы.....	30
3.6 Разработка электронного модуля.....	32
3.7 Расчет радиатора транзистора.....	33
.....	33
3.8 Расчет надежности электронного модуля.....	35
3.9 Расчет частоты собственных колебаний печатной платы.....	39
4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА И АНАЛИЗ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ.....	42
4.1 Выбор блока питания.....	42
4.1.2 Выбор корпуса.....	43



4.1.3 Тепловой расчет. Выбор способа охлаждения устройства. ....	45
4.2 Описание корпуса распылителя.....	47
5 ОХРАНА ТРУДА .....	49
5.1 Определение основных потенциально вредных и опасных производственных факторов. ....	49
5.2 Технические решения и организационные мероприятия по безопасности и гигиене и производственной санитарии. ....	50
5.2.1 Электробезопасность. ....	50
5.2.2 Требования к освещенности рабочих мест при работе с измерительными приборами и электронно-вычислительной техникой. ....	52
5.2.3 Пожарная безопасность и профилактика.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковое распыление вызывает интерес как метод распыления жидкости благодаря его преимуществу электрической управляемости. В настоящей работе экспериментальное исследование проводится для улучшения понимания характеристик ультразвукового распыления. Параметрический анализ выполняется, чтобы понять влияние различных рабочих параметров, таких как скорость потока газа-носителя и высота столба жидкости над распылителем. Также изучено влияние свойств жидкости на высоту факела и скорость распыления. Нестабильные поверхностные волны, которые ответственны за образование капель, визуализируются с помощью метода задней подсветки с использованием ПЗС-камеры с большим увеличением, чтобы получить хорошее представление о высоте плюма, и скорость распыления определяется с изменяющейся скоростью потока газа-носителя. Схема течения (визуализация полос) в жидкости также анализируется путем введения частиц в среду. Результаты экспериментов показывают, что высота струи для этанола является самой высокой среди исследованных жидкостей, а минимальная высота струи для водного раствора мочевины. Высота шлейфа максимальна для высоты столба жидкости 10 мм над распылителем. Скорость распыления для исследованных жидкостей показывает, что скорость распыления максимальна для высоты колонки 20 мм, а максимальная скорость распыления достигается там, где высота струи меньше.

Ультразвуковые газоанализаторы осуществляют слежение за процессами накопления опасных примесей. Зависимость скорости УЗ от температуры используется для бесконтактной термометрии газов и жидкостей. На измерении скорости звука в движущихся жидкостях и газах, в том числе неоднородных (эмульсии, суспензии, пульпы), основаны ультразвуковые расходомеры, работающие на эффекте Доплера.

Аналогичная аппаратура используется для определения скорости и расхода потока крови в клинических исследованиях. Большая группа методов измерения основана на отражении и рассеянии волн ультразвука на границах между средами. Эти методы позволяют точно определять местонахождение инородных для среды тел и используются в таких сферах как

Ультразвуковой распылитель это устройство, которое превращает нормальный поток жидкости в очень тонкий туман. Он состоит из генератора и зонда. Генератор создает вибрации и фокусирует их на конце зонда. Когда жидкость проходит через зонд, она превращается в мелкие частицы. Ультразвуковой распылитель часто используется в производственных приложениях, таких как покрытие тканей, добавление влаги в газовый поток и впрыскивание небольших количеств жидкости в реактор.

Распылитель состоит из распылительного элемента на основе пьезокерамики и генератора, предназначен для пробуждения этого элемента. Ультразвуковые высокочастотные распылители используются (УВР) для образования капель жидкости малого диаметра в воздухе. Малый размер капель необходим для образования тумана высокой плотности. Длительный контакт пьезокерамики и жидкости значительно уменьшает время безотказной работы УВР, поэтому необходимо обеспечить изоляцию распылителя от жидкости. Устройство должно иметь низкую себестоимость и высокий КПД. Целью дипломной работы является разработка корпуса для распылителя и создание генератора ультразвуковых колебаний.

# 1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.

## 1.1 Обзор существующих решений.

### 1.1.1 Обзор и анализ схмотехнических решений.

Обобщенная функциональная схема любого генератора изображена на рисунке 1.1 [1].

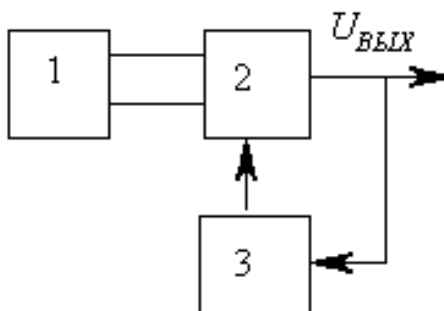


Рисунок 1.1 — Обобщенная функциональная схема любого генератора.

В схеме на рисунке 1.1 присутствуют блок питания (1), усилитель (2) и кольцо положительной обратной связи (3). При автогенерации должны выполняться условия баланса фаз и баланса амплитуд. Условие баланса фаз: фазы входного сигнала и сигнала, поступающего с круга положительной обратной связи, должны быть одинаковы или отличаться на  $2\pi$ .

Условие баланса амплитуд: результирующее усиление в цепи, состоящей из усилителя и звена положительной обратной связи должен быть равен единицы. Поскольку в дальнейшем анализе будут указаны усилители класса А и АВ, необходимо отметить алгоритмы генерации сигналов на каждом из них.

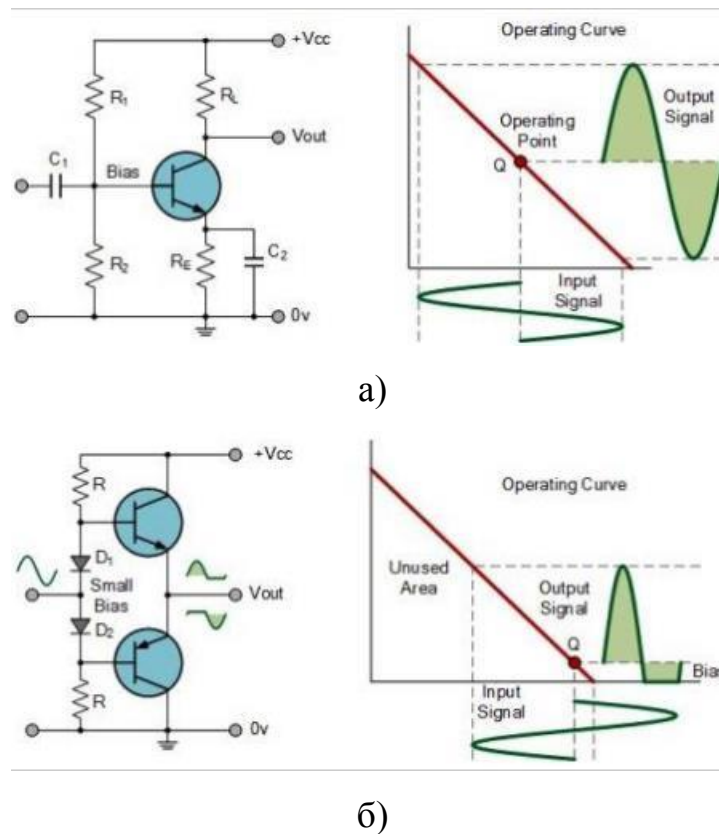


Рисунок 1.2 — Схема включения и осциллограмма выходного сигнала усилителя а) класса А, б) класса АВ.

Усилители класса А используют один транзистор для усиления сигнала (рисунок 1.2, а)). Рабочая точка выбрана так, что транзистор работает всегда: через него всегда проходит постоянная стала тока. С одной стороны, класс А имеет низкий коэффициент линейных искажений, но с другой низкий КПД.

В свою очередь, рабочие точки транзисторов в усилителе класса АВ подобраны на 5-10% выше точки покоя (рисунок 1.2, б)). Имея так подобранную рабочую точку и двухтактную систему усиления, большая часть искажений после включения каждого из транзисторов будет находиться в поле 5-10% выше точки покоя [2].

В настоящее время такие схемотехнические решения для генераторов:

- Схемы с фиксированной частотой генерации.
- Схемы, которые генерируют пробуждающий сигнал на резонансной частоте пьезоэлектрики.

Поскольку в схемах с фиксированной частотой генерации нет поддержания длительного режима работы, сконцентрируем внимание на

схемах, которые генерируют пробуждающий сигнал на резонансной частоте пьезоэлектрики. Среди них наиболее распространенные схемы с фазовой автоподстройкой частоты и схемы с пьезоэлементом в цепи обратной связи.

Функциональная схема с фазовой автоподстройкой частоты изображена на рисунке 2.1. [3].

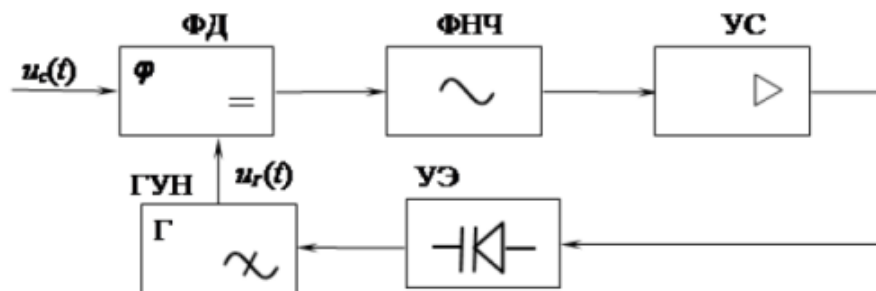


Рисунок 1.3 — Функциональная схема с фазовой автоподстройкой частоты.

Основу схемы составляет фазовый детектор ФД, фильтр низких частот ФНЧ, усилитель УС, элемент, управляющий УЭ и перестраиваемый генератор (ГУН). ФНЧ, УС, УЭ и ГУН составляют схему обратной связи. ФНЧ и УС формируют частотную характеристику системы. Изменение частоты ГУН определяет сдвиг фаз, который имеет место на ФД.

Обычно схемы с фазовой автоподстройкой реализуют на интегральных микросхемах, они довольно дорогие. Этот фактор и является решающим.

Среди схем с пьезоэлементом в кругу обратной связи наиболее распространено индуктивное трехточечное включение пьезоэлемента (рисунок 1.4).

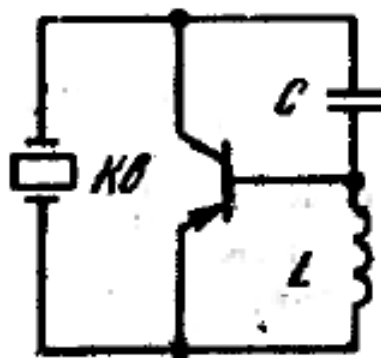


Рисунок 1.4 — индуктивная трехточечная схема генератора.

Индуктивный способ подключения обусловлен следующим: на частотной характеристике (рисунок 1.5) видно, что реактивная составляющая сопротивления имеет нулевое значение на частоте  $\omega_1$ . В диапазоне частот  $\omega_1 \dots \omega_0$  имеет индуктивный характер. Во время подключения пьезоэлемента в круг обратной связи, необходимо настроиться на последовательный резонанс на частоте  $\omega_1$ .

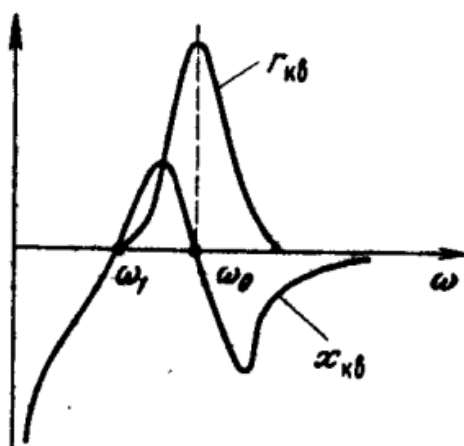


Рисунок 1.5-частотная характеристика пьезоэлемента.

К преимуществам этой схемы, изображенной на рисунке 1.4, можно отнести ее простоту, реализованы частотная подстройка и обратная связь. Эту схему действительно не сложно воспроизвести. Небольшой КПД — значительный недостаток этого решения, это обусловлено работой схемы в режиме класса А.

Желательно разработать схему двухтактного усилителя класса АВ: это увеличит КПД. Также необходимо сохранить пьезоэлемент в кругу обратной связи: это обеспечит возможность автоматической частотной подстройки.

#### 1.1.2. Обзор и анализ аналогов на рынке.

В данном разделе будут рассмотрены популярные модели ультразвуковых распылителей, генераторов и их характеристики. Проанализировав несколько предложений на рынке можно прийти к выводу, что сортировка товара по рабочим диапазоном частот не проведено. Поэтому выделить именно УВР невозможно.

Предложение магазина HAILIE'S STORE [4] изображена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 — Предложение магазина HAILIE'S STORE

Предложение имеет следующие характеристики:

- Мощность АЕ: 60 Вт;
- Рабочая частота: 28 кГц;
- Питания электронного модуля от сети 220 В;
- Мощность генератора: 100 Вт;

Габаритные размеры генератора:

- Длина: 127 мм;
- Ширина: 69 мм.

Проанализируем их. К преимуществам этого аналога можно отнести реализацию, что поняла для технического специалиста (модернизация



прибора возможна с помощью пересчета имеющейся схемы и изменения номиналов компонентов) и конструкционно объединены блок питания и генератору.

Среди недостатков главнейшие следующие: низкая эффективность АЭ в режиме работы на высоких частотах и малой мощности; значительная стоимость; большие мощность и габариты.



Рисунок 1.7 — Предложение магазина GRTCO Quality Store.

Рассмотрим прибор, его технические характеристики и проанализируем их:

- Питание от сети 220 В;
- Номинальная мощность: 25 Вт;
- Расход распыляемой жидкости: 350 мл / час.

Среди преимуществ этого прибора есть повышенная эргономичность и возможность пользования прибором «сразу из коробки».

Несмотря на это, прибор имеет мало недостатков: невозможность совершенствования большие мощность, расход распыляемой жидкости; очень высокую цену.



Рисунок 1.8 — Предложение магазина Easy Life Mall

Рассмотрим устройство и технические характеристики и проанализируем их:

- Питание генератору постоянным напряжением 24 в, подаваемого из блока питания, подключенного к сети 220 в

- Мощность прибора 5 Вт;

Габаритные размеры блока питания:

- Длина: 80 мм;

- Ширина: 58 мм;

- Высота: 36 мм;

К преимуществам этого прибора можно отнести мощность и габаритные размеры блока питания, удовлетворяющих условиям технического задания; небольшую цену и изолированность АЕ от жидкости.

Но устройства подобной конструкции имеют недостатки: во время работы подобные приборы чувствительны к количеству жидкости в таре и имеют небольшой КПД.

Несмотря на то, что каждый производитель считает нужным избрать собственные ключевые параметры, провести детальное сравнение становится невозможным. Основными недостатками позиций, которые были представлены, являются недостатки самой конструкции (проблемы с уровнем жидкости, и тому подобное.) и выбранной схемы (низкий диапазон частот, невозможность подстройки рабочей частоты, отсутствие рабочей частоты, которую требует техническое задание).

## 1.2 Анализ технического задания.

Необходимо разработать генератор ультразвуковых колебаний и влагозащищенный корпус для установки распылителя в тару с жидкостью.

Согласно технического задания (ТЗ) климатическое исполнение У 4.2 по ГОСТ 15150-69[7] предусматривает следующие требования:

Рабочая температура в пределах от +10°C до +35°C;

Предельная температура в пределах от +1°C до +40°C;

Среднее значение относительной влажности воздуха 60% при температуре +20°C;

Предельное значение относительной влажности воздуха — 80% при температуре +25°C;

Рабочее значение атмосферного давления — 104 кПа;

Минимально допустимое значение атмосферного давления 84 кПа. Защита от механических воздействий С1 согласно ГОСТ 16019-2001[8]. Это предусматривает требования указанные в таблице 2.1.

Таблица 1.1. — Характеристики и значения механических и климатических факторов

Фактор	Характеристика	Значение
Синусоидальная вибрация	Диапазон частот, Гц	10-70
	Амплитуда ускорение, м/с <sup>2</sup> (g)	19,6 (2)
	Продолжительность воздействия, мин	90
Пониженная температура	Рабочая, °C	+5
	Предельная, °C	-40
Повышенная температура	Рабочая, °C	+40
	Предельная, °C	+55
Пониженное атмосферное давление	Давление, кПа	55

По показателям надежности устройство должно иметь гарантийный срок не менее года и среднее время наработки на отказ составляет не менее 9000 часов. Ремонт и техническое обслуживание осуществляется у производителя.

Степень защиты корпуса (оболочки) согласно ГОСТ 14254-96 [9]. Это предусматривает требования, указанные в таблице (номер).

Таблица 1.2 — Характеристики степеней защиты.

Обозначение	Описание	Определение
IP5X	Защищено от доступа к опасным частям проволокой.	Щуп доступности диаметром 1.0 мм не должен проникать внутрь оболочки.
	Пылезащищенность.	Проникновение пыли исключено не полностью, однако пыль не должна проникать в количестве, достаточном для нарушения нормальной работы оборудования или снижения его безопасности.
IP4X	Защищено от сплошного обрызгивания.	Вода, падающая в виде брызг на оболочку с любого направления, не должна наносить вреда.

Требований к материалам корпуса блока питания и генератора, типа платы, элементной базы, способа охлаждения не выдвигается. Согласно ТЗ необходимо выбрать такой материал для изоляции АЕ, который не будет под действием ультразвуковых колебаний взаимодействовать с веществом.

## **Вывод**

1 посмотрев все варианты, пришли к выводу что устройства которые были приведены выше имеют свои недостатки. Основными недостатками являются то что во время работы подобные приборы чувствительны к количеству жидкости в таре, имеют небольшой КПД, низкий диапазон частот, невозможность подстройки рабочей частоты и отсутствие рабочей частоты, которую требует техническое задание. Необходимо разработать генератор ультразвуковых колебаний и влагозащищенный корпус для установки распылителя в тару с жидкостью. По показателям надежности устройство должно иметь гарантийный срок не менее года и среднее время наработки на отказ составляет не менее 9000 часов.



Круг обратной связи, образованный сигнальными трансформаторами Т1 и Т2 и последовательно включенным пьезоэлементом распылителя ZQ1.

Электрическая схема замещения пьезоэлемента приведена на рисунке 2.2.

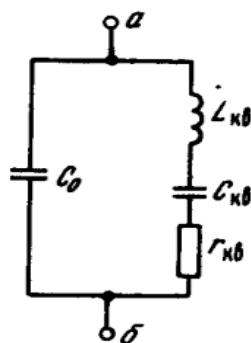


Рисунок 2.2 — Электрическая схема замещения пьезоэлемента.

Поскольку пьезоэлемент включен в цепь обратной связи последовательно, наибольшая глубина обратной связи на частоте последовательного резонанса, на которой пьезоэлемент будет иметь минимальное сопротивление. RC-круг C3, R9, R10 образует фильтр нижних частот, предотвращающий генерации на частотах, которые соответствуют высокочастотным модам колебаний пьезоэлектрического элемента. Последовательно включены C1, R1, R3 для VT1 и C2, R2, R5 для VT2 соединяют стоки транзисторов с затворами. Такое включение образует частота-зависимую отрицательную обратную связь для предотвращения возникновения паразитной высокочастотной генерации.

В момент подачи питания, вследствие переходных процессов и наличия собственных шумов транзисторов, возникают токи утечки, проходящие через первичную обмотку трансформатора Т2. К вторичной обмотке подключен пьезоэлемент, который осуществляет фильтрацию этого случайного сигнала, выделяя частоту генерации последовательного резонанса. Этот сигнал через трансформатор Т1 подается на затворы транзисторов и усиливается ими. Трансформатор Т1 имеет симметричный выход, схема построена так, что положительная волна усиливается транзистором VT1 и транзистором VT2.

## **2.2 Выбор элементной базы**

Элементная база определяет стоимость прибора, она влияет на вид технологии изготовления прибора. Для обеспечения работоспособности схемы элементы должны быть выбраны с нужным допуском.

Для выбора элементной базы был использован каталог магазина "РКС КОМПОНЕНТИ" [10] и "ООО КОРТЕХ" [11].

### **2.2.1 Выбор разъемов питания.**

Избранные клеммные выводы от компании Degson, Китай. Установка проводов производится с помощью отвертки.

### **2.2.2 Выбор активных элементов.**

Выбраны полевые транзисторы от компании Vishay. Они наиболее доступны и не дорогие.

### **2.2.3 Выбор корпуса трансформатора.**

Выбран корпус от компании ООО «Кортех», (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3-Корпус BV-EF16-1-6Q (PET)

Это типичный корпус, он является распространенным.

## **Вывод**

Генератор построен по классической схеме, которая состоит из активных элементов, охваченных положительной обратной связью. Схема приведена на рисунке 2.1. Элементная база определяет стоимость прибора,



она влияет на вид технологии изготовления прибора. Для обеспечения работоспособности схемы элементы должны быть выбраны с нужным допуском. Избранные клеммные выводы от компании Degson, Китай. Установка проводов производится с помощью отвертки. Выбраны полевые транзисторы от компании Vishay. Они наиболее доступны и не дорогие. Выбран корпус от компании ООО «Кортех», это типичный корпус, он является распространенным.

## 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

Проектирование печатного узла и создания конструкторской документации осуществлялось в системе автоматизированного проектирования Altium Designer.

### 3.1 Разработка схемы электрической принципиальной.

Принципиальные электрические схемы (ЭС) предназначены для полного отражения взаимосвязей приборов с учетом принципов их действия и последовательности работы. На электрических схемах показывают только те элементы, которые объясняют электрические процессы. На схеме детали размещают так, как это удобно для их изображение. Рекомендовано сохранять и учитывать последовательность прохождения тока. Условные обозначения лишь определяют вид элемента и не отражают их размеры. Все элементы имеют позиционное обозначение. Оно состоит из букв и цифр. Буквы указывают вид элемента. Цифра показывает порядковый номер элемента. Порядковые номера одинаковых элементов записывают сверху вниз слева направо. Создана схема входит в комплект конструкторской документации.

Разработка электрической принципиальной схемы осуществляется в среде Altium Designer с помощью графического редактора Altium Schematic. Все схематические изображения элементов, необходимые для создания ЭС, были предварительно организованы в соответствующую библиотеку.

### 3.2 Выбор материала для печатной платы.

Был выбран односторонний стеклотекстолит СФ 1-35Г.

### 3.3 Расчет размеров контактных площадок и определение класса точности платы.

Размеры контактных площадок рассчитываются по эмпирическим формулам (3.1) и (3.2):

$$d_0 = d_B + 0.2 \text{ мм}, \quad (3.1)$$

$$D_{\text{КП}} = d_0 + \frac{2}{3} d_0 \quad (3.2)$$

Где

$d_B$  – длина поперечного сечения вывода элемента.

$d_0$  – диаметр отверстия контактной площадки.

$D_{КП}$  – диаметр контактной площадки.

Необходимо отметить, что (3.1) и (3.2) действительна для  $d_B < 1.3$ .

Для элементов, имеющих поперечное сечение вывода прямоугольной формы, длина поперечного сечения вывода элемента вычисляется по формуле (3.3):

$$d_B = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3.3)$$

Где:

$a$  - длина поперечного прямоугольного сечения вывода,

$b$  - ширина поперечного прямоугольного сечения вывода.

Полученные значения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Размеры контактных площадок для элементов схемы.

Название компонента	$D_B$ , мм	$D_0$ , мм	$D_{КП}$ , мм
Резисторы и керамические конденсаторы	0.45	0.7	1.1
Подстрочные резисторы	0.50	0.7	1.2
Электролитический конденсатор	0.50	0.7	1.2
Трансформаторы	0.85	1.0	1.7
Разъемы	1.00	1.2	2.0
Полевые транзисторы в корпусе ТО-220	1.15	1.4	2.3

Ширина гарантийного пояса контактной площадки не менее 0,2 мм. это позволяет выбрать второй класс точности платы [12]. Выбранный класс точности облегчит дальнейший монтаж элементов на плату.

### 3.4 Расчет ширины печатных проводников и зазоров между элементами печатного рисунка.

В соответствии с выбранным классом точности, рассчитаем ширину печатных проводников и зазоров между элементами печатного рисунка. Поскольку мощность прибора согласно ТЗ не значительное ( $P < 1,5$  Вт) и в схеме отсутствуют цепи ВЧ и круга с высокими напряжениями, выполнять отдельный расчет ширины сигнальных и силовых проводников не является целесообразным.

Рассчитаем минимальное значение ширины печатного проводника в узком месте:

$$t_1 = t_{II} + \Delta t_{II}, \quad (3.4)$$

Где:

$t_{II} = 0,45$  - ширина печатного проводника согласно классу точности,

$\Delta t_{II} = 0,10$  - допуск на ширину печатного проводника согласно классу точности.

Рассчитаем минимальное значение ширины печатного проводника в широком месте:

$$t_2 = t_I + \Delta t_I \quad (3.5)$$

Где:

$t_I = 0,75$  мм ширина печатного проводника согласно первого класса точности,

$\Delta t_I = 0,25$  мм допуск на ширину печатного проводника согласно первого класса точности,

Рассчитаем минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого падения напряжения (3%):

$$t_2 = \frac{U_{max} P}{0.3 h U_{жив}}, \quad (3.6)$$

$p = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$  – удельное сопротивление проводников.

$l = 0.2$  м – максимальная длина проводника.

$h = 35$  – мкм толщина фольги.

$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$  – удельное сопротивление проводников.

$l = 0,2\text{м}$  – длина проводника.

$U_{\text{жив}} = 24\text{ В}$  – напряжение питания.

$I_{\text{max}} = 0,05\text{А}$  – максимальный ток.

Рассчитаем минимально допустимую ширину проводника с учетом допустимого уровня тока на нем:

$$t_4 = \frac{I_{\text{max}}}{hj}, \quad (3,7)$$

Где:

$I_{\text{max}} = 0,05\text{ А}$  – максимальный ток,

$h = 35\text{ мкм}$  – толщина фольги,

$j = 20 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  – допустимая плотность тока в проводнике.

Были вычислены ширины проводников в узком (3.4) и широком (3.5) минимально допустимые ширины с учетом допустимых падения напряжения (3.6) и уровня тока (3.7). Результаты вычислений приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Результаты вычислений (3.4)-(3.7)

Величина	Значение
$t_1$	0,5 мм
$t_2$	1,00 мм
$t_3$	3,5 мм
$t_4$	0,07 мм

Зазоры между элементами печатного рисунка рассчитываются в соответствии с классом точности и допуска:

$$S = S_m + \Delta t, \quad (3,8)$$

Где:

$S_m = 0,45\text{мм}$  – минимальное допустимое расстояние между элементами печатного рисунка согласно классам точности,

$\Delta t_{II} = 0,10$  мм – допуск на ширину элемента печатного рисунка согласно классу точности.

Согласно расчетам (3.4)-(3.8) избранные ширины печатных проводников в широком и узком местах и минимальный зазор между элементами печатного рисунка. Результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3-выбранные величины, характеризующие печатный рисунок

Величина	Избранное значение
Ширина печатного проводника в узком месте $t_1$	0,55 мм
Ширина печатного проводника в широком месте $t_2$	1,00 мм
Минимальный зазор между элементами печатного рисунка $S$	0,55 мм

### 3.5 Определение площади платы.

При расчете минимальной площади платы, необходимо брать во внимание не только физические размеры так количество компонентов схемы, но и коэффициент габаритности каждого из элементов и количество отверстий, с помощью которых печатная плата будет крепиться к корпусу.

Минимальная площадь платы вычисляется по формуле

$$S_{min} = \sum_{i=1}^N l_i b_i k_i,$$

Где:

$l_i$  – длина компонента схемы на плате,

$b_i$  – ширина компонента схемы на плате,

$k_i$  – коэффициент габаритност компонента,

$N$  – количество компонентов.

Результаты расчета приведены в таблице 4.2.

Таблица 3.4 — Расчет минимальной площади печатной платы

Название компонента	l, мм	b, мм	k	Компонентов шт.	Промежуточная площадь, мм <sup>2</sup>
Резисторы и керамические конденсаторы	3,2	1,6	1	11	56,32
Подстроечные резисторы	5	9	1	3	135
Электролитический конденсатор	8	8	1	1	64
Трансформаторы	13	11,1	3	2	865,8
Разъемы	4,5	10	1,5	2	135
Полевые транзисторы в корпусе ТО-220	10	7	1	2	140
Крепежные отверстия	5	5	1	3	75
$S_{min}, \text{мм}^2$					1471,12

Минимальная рассчитанная площадь печатной платы  $S_{min,} = 1471,12$  мм<sup>2</sup>.

Целесообразно выбрать печатную плату с размерами 30 мм х 60 мм: на выбранную площадь в 1800 мм<sup>2</sup> возможно установить все элементы схемы вместе с крепежными отверстиями.

### 3.6 Разработка электронного модуля.

Была выполнена в редакторе PCB Editor среде Altium Designer. На рисунке 3.1 приведено 3-D изображение электронного модуля. Трассировка печатная плата выполнена на одном слое (рисунок 3.2).

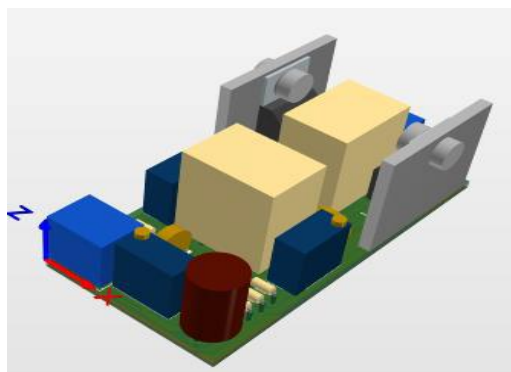


Рисунок 3.1-3-D изображение электронного модуля.

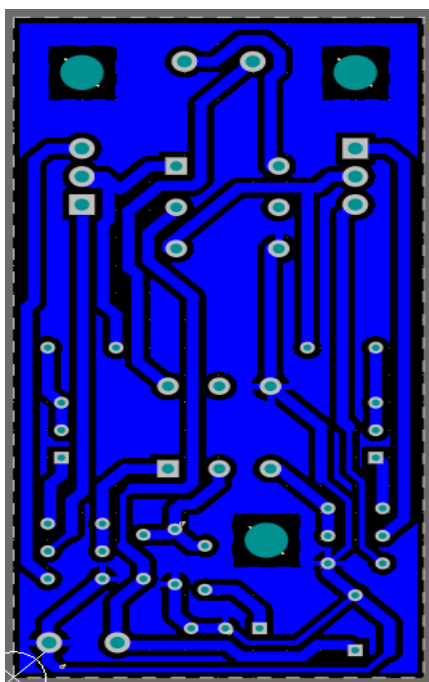


Рисунок 3.2-трассировка нижнего слоя печатной платы

Было размещено три крепежных отверстия. Такое количество отверстий обеспечит необходимую механическую устойчивость выбранной платы. Разъем питания и выходной разъем разнесены по разные стороны платы. Центры масс тяжелых элементов печатного узла (радиаторные пластины и трансформаторы) размещены между крепежными отверстиями.



Это необходимо для равномерного распределения нагрузки на элементы крепления.

### 3.7 Расчет радиатора транзистора

• Проводим согласно методике, изложенной в [13].

Исходные данные для расчета:

- мощность, рассеиваемая транзистором  $P = 1$  Вт;
- максимальная температура окружающей среды  $T_{cp} = 313$  К ;
- предельная допустимая температура перехода  $T_n = 378$ К;
- тепловое сопротивление переход-корпус  $R_{n-k} = 4 \frac{K}{Вт}$
- тепловое сопротивление корпус-радиатор  $R_{k-p} = 0,5 \frac{K}{Вт}$

Значение теплового сопротивления равно  $5 \frac{K}{Вт}$  выбрано из условия установки микросхемы на радиатор через теплопроводную пасту КПТ-8.

Определим среднюю поверхностную температуру тепло отвода :

$$T_{cn} = 0,94 [T_n - P(R_{n-k} + R_{kp})]$$

$$T_{cn} = 314 \text{ K}$$

Средний перегрев поверхности радиатора:

$$\Delta T_{cn} = T_{cn} - T_{cp}$$

$$T_{cn} = 38 \text{ K}$$

Согласно графика (см. рисунок 3.3) площадь поверхности теплообмена  $S_{нл} = 10 \text{ см}^2$

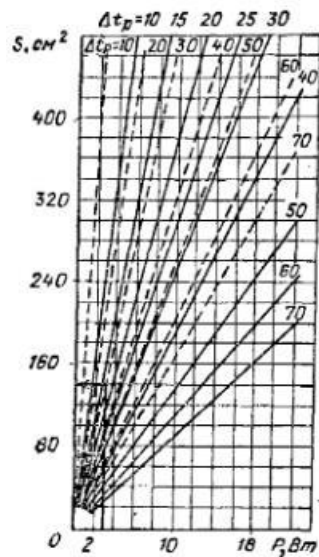


Рис. 22.10. График для ориентировочного определения поверхности теплообмена пластины (сплошные кривые — с учетом излучения,  $\epsilon_{\text{пл}} = 0,9$ ; пунктирные — без учета излучения).

Рисунок 3.3-график для ориентированного определения поверхности теплообмена пластины (сплошные кривые — с учетом излучения, пунктирные — без)

Пластина должна быть толщиной 2 мм. Площадь радиаторной пластины равно:

$$f_p = \frac{S_{\text{пл}}}{2}$$

Имея ограничения по высоте (максимально 20 мм), выбраны следующие габариты пластины (рисунок 3.4):

- ширина: 2 мм,
- длина: 25 мм,
- высота: 20 мм.

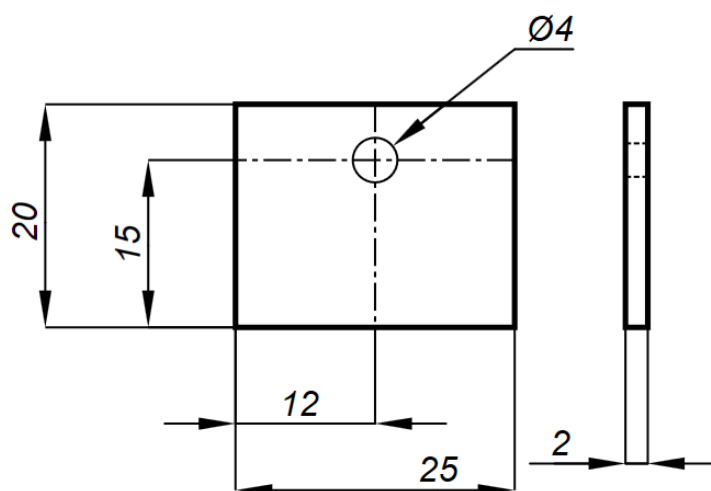


Рисунок 3.4 — Эскиз радиаторной пластины.

Пластина крепится винтом М3. На рисунке 3.4 указано место крепления.

### 3.8 Расчет надежности электронного модуля.

Проводится по методике, изложенной в [14].

Необходимо найти интенсивность отказов каждого элемента схемы .

Она определена формулой:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_2 K_e \quad (3.9)$$

Где:

$\lambda_0$  — среднестатистическая интенсивность отказов ЕРЕ,  $10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$

$K_1$  — функция температуры и коэффициента нагрузки;

$K_2$  — относительная влажность во внутреннем объеме РЕА;

$K_e$  — поправочный коэффициент условий эксплуатации модуля.

Согласно рисунку 3.5  $K_e = 2$

Функция температуры и коэффициента нагрузки определена формулой:

$$K_e = f(\theta, K_H) \quad (3.10)$$

Где :

$\theta$  — температура ЕРЕ, С,

$K_H$  — коэффициент нагрузки.

Поскольку элементы схемы были подобраны с запасом по мощности и приложенного к ним напряжения, для всех элементов схемы  $K_H = 0,5$

Условия эксплуатации устройств	$K_e$
Стационарные условия	1
Лабораторные условия	1,5
Бытовые стационарные условия	2,0
Бытовые условия с ношением аппаратуры	2,2
Эксплуатация на автотранспортных средствах	2,6
Эксплуатация на железнодорожных транспортных средствах	2,8
Эксплуатация на самолетах	4,0
Бортовые космические условия (с ракетными ускорителями)	20,0
Морские условия (вне помещения)	7,6

Таблица 3.5 - поправочный коэффициент условий эксплуатации модуля.

В

схеме

использованы следующие элементы: постоянные и переменные непроволочные резисторы, электролитические и пленочные конденсаторы, кремниевые транзисторы и трансформаторы. Зависимости  $K_I$  для элементов приведены на рисунках 3.5 и 3.6.

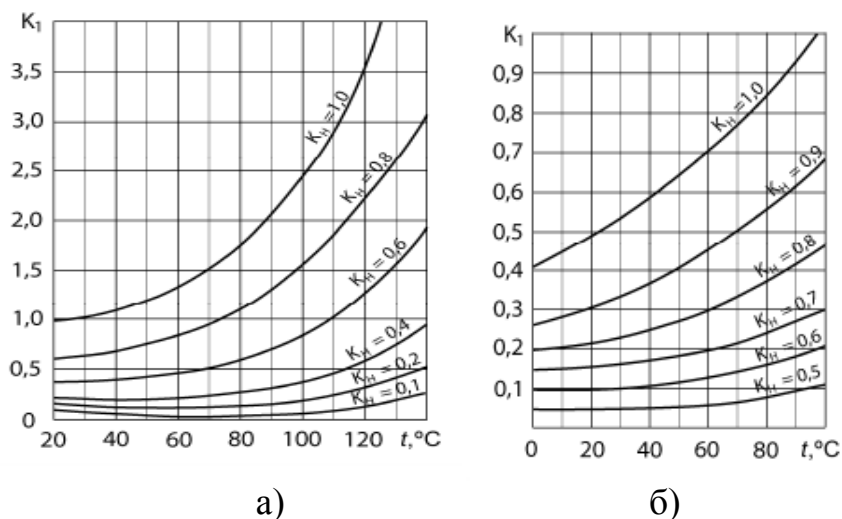


Рисунок 3.5 - Зависимость  $K_1$  для низкочастотных кремниевых транзисторов (а) и трансформаторов (б).

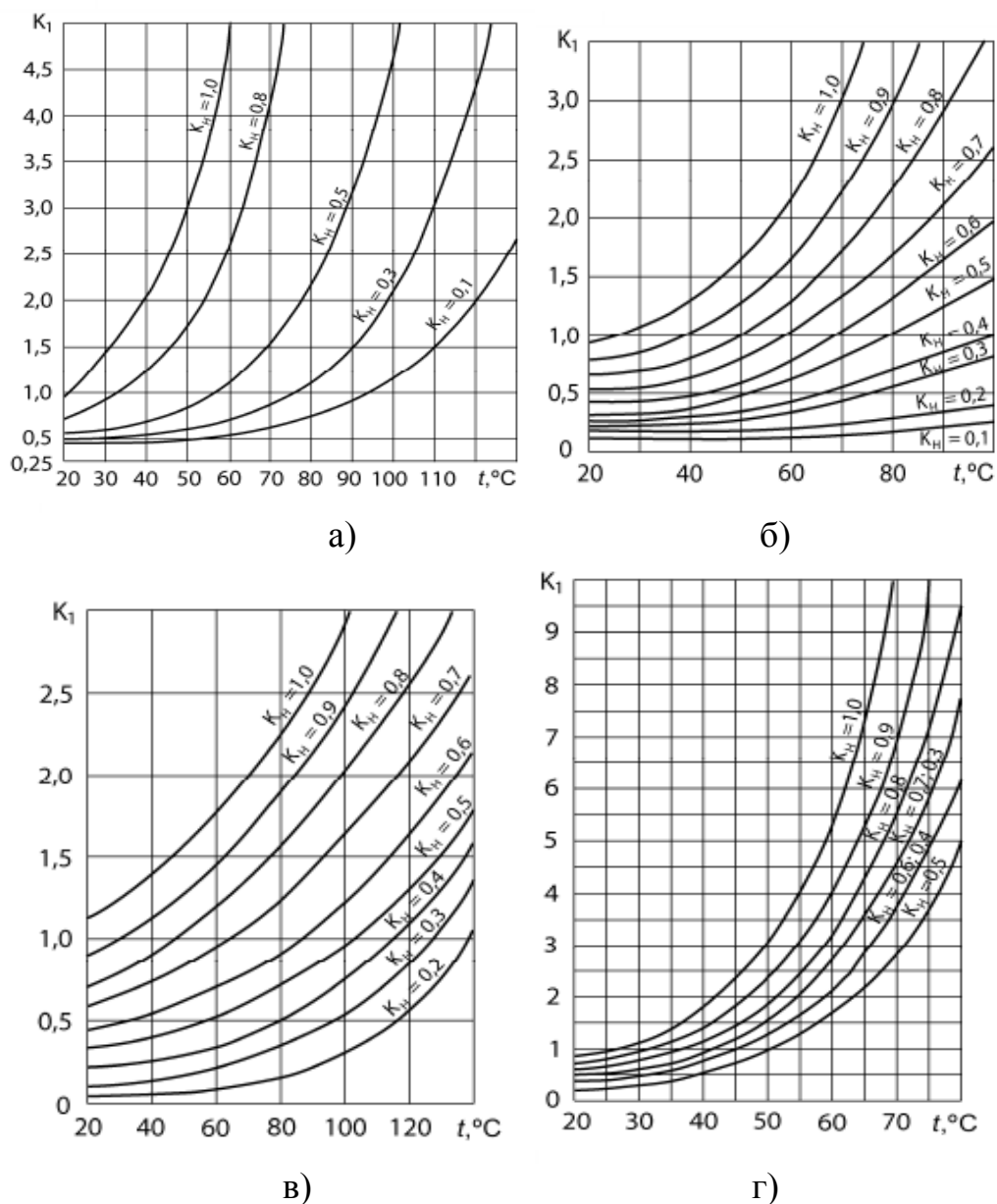


Рисунок 3.6 - Зависимость  $K_1$  для постоянных (а) и переменных (б) непроволочных резисторов, пленочных (в) и электролитических (г) конденсаторов.

Расчеты приведены в таблице 3.5.

Определим с таблицы суммарную интенсивность отказов схемы:

$$\lambda_{p\Sigma} = 22,9 + 10^{-6} \frac{1}{\text{ГОД}}$$

Таблица 3.6 - Расчет интенсивность отказов элементов схемы.

Название компонента	$\lambda_0 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$	$K_1$	$K_2$	$K_e$	N, шт.	$\lambda_0 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$
Резистор постоянный непроволочных	0,5	0,7	0,8	2	8	4,48
Резистор переменный проволочный	1,2	0,25	0,8	2	3	1,44
Конденсатор электролитический	3	1	0,8	2	1	4,8
Конденсатор пленочный	0,5	0,4	0,8	2	3	0,96
Трансформатор	2	0,5	0,8	2	2	3,2
Кремниевый транзистор	2,5	1	0,8	2	2	8

Определим среднюю наработку до отказа  $T_0$ , решив уравнение (3.11):

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{T_0}{2\pi t_b^3}} \exp \left[ -\frac{(t_b - T_0)^2}{2t_b T_0} \right], \quad (3.11)$$

Где:  $\lambda_p$  – Суммарная интенсивность отказов схемы

$t_b = 3 \cdot 10^4$  год – Продолжительность испытаний.

Определенное значение  $T_0 \approx 32 \cdot 10^3$  часов.

Вероятность безотказной работы  $P(x)$  для DN-распределения определяется уравнением (3.12):

$$P(t) = 0,5 \left\{ \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{1 - \frac{t}{T_0}}{v\sqrt{2x}} \right) \right] + e^{\frac{2}{v^2}} \left[ \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( -\frac{1+x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] \right] \right\}, \quad (3.12)$$

Где:

$T_0$  – Средняя наработка на отказ,

$\operatorname{erf}(x)$  – Функция интеграла ошибок,

$v=1$  – Коэффициент вариации ( $v = 1$ ),

$T_0$  – Средняя наработка до отказа.

На рисунке 3.8 приведен график функции (3.12).

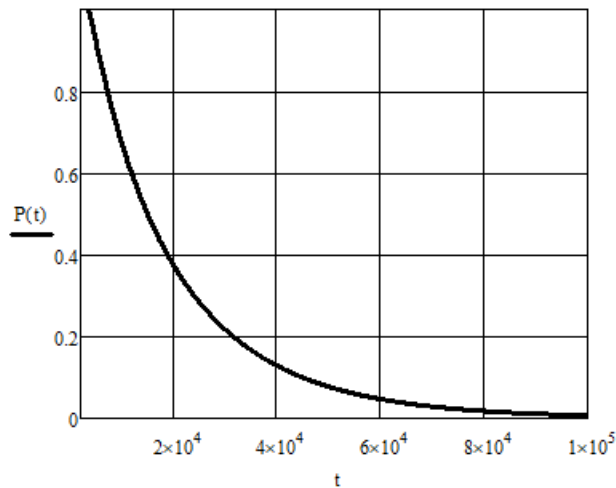


Рисунок 3.7 - График функции вероятности безотказной работы.

Согласно ТС средний срок службы - 9000 часов. Суммарная вероятность безотказной работы при ( $t = 9000$  ч)  $P=67\%$ .

### 3.9 Расчет частоты собственных колебаний печатной платы.

Проведем расчет по методике, изложенной в [15]

Исходные данные:

$a=0,06$  м – длина платы,

$b=0,03$  м – ширина платы,

$h= 1,5 \cdot 10^{-4}$  м – толщина платы,

$M= 0,5$ кг – масса установленных элементов на плате.

Параметры материала печатной платы (односторонний фольгированный стеклотекстолит СФ 1-35Г):

$E=3,2 \cdot 10^{10} \frac{H}{m^2}$  – модуль упругости,

$\rho=2,05 \cdot 10^3 \frac{кг}{m^3}$  – плотность,

$\xi=0,22$  – коэффициент Пуассона.

Цилиндрическая жесткость печатной платы определяется по формуле:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\xi^2)}.$$

Сводная масса печатной платы и деталей рассчитывается по формуле:

$$m = m_n + m_e, \quad (3.13)$$

Где:

$m_n = \rho h$  – приведённая масса печатной платы,

$m_e = \frac{M}{ab}$  – приведённая масса деталей.

Согласно расчетам по (3.13),  $m = 86,4$  кг/м.

Вычислим функцию  $\varphi(\beta)$  для крепления платы:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{(1 + 1,621 \cdot \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}) / (1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6})}$$

Где:

$\beta = a/b$  – коэффициент соотношения сторон платы.

Резонансная частота платы рассчитывается по формуле (3.14):

$$f_0 = \frac{\varphi(\beta)}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Проведя расчеты по (3.14), получаем  $f_0 \approx 66$  кГц. Полученное значение удовлетворяет требованиям, изложенным в ТС.

### Вывод

С помощью программы Altium Designer разработали электрическую принципиальную схему. Для печатной платы выбрали односторонний стеклотекстолит СФ 1-35Г. Рассчитали ширину печатных проводников и зазоров между элементами. Печатная плата была выбрана с размером 30 мм х 60мм. на выбранную площадь в 1800 мм<sup>2</sup> возможно установить все элементы схемы вместе с крепежными отверстиями. Разработка электронного модуля была выполнена в редакторе PCB Editor среде Altium Designe. Трассировка печатная плата выполнена на одном слое. Значение теплового сопротивления равно  $5 \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$  выбрано из условия установки микросхемы на радиатор через



теплопроводную пасту КПТ-8. Пластина должна быть толщиной 2 мм. Имея ограничения по высоте, выбраны следующие габариты пластины ширина 2мм, длина 25мм, высота 20мм.

## 4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТА И АНАЛИЗ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ.

### 4.1 Выбор блока питания.

Согласно технического задания, необходимо обеспечить генератор питанием постоянным напряжением  $U_{жив} = 24 \text{ В}$  и током не менее  $I = 50 \text{ мА}$ .

Необходимо выбрать модуль блока питания с максимально простым способом установки в корпус. Среди предложенных модулей блоков питания указанным условиям удовлетворяют блоки NFM-05-24 [16] (рис 4.1) и PS-05-24 [17] (рис 4.2) китайской фирмы Mean Well.



Рисунок 4.1 - Блок питания Mean Well NFM-05-24



Рисунок 4.2 - Блок питания Mean Well PS-05-24

Эти модули соразмерны по габаритам к модулю генератора, который был создан. Выберем модель PS-05-24: она имеет типичные разъемы и крепежные отверстия, которые облегчают дальнейшее сборки устройства.

Выбранная модель имеет следующие параметры:

- Длина: 75 мм,
- Ширина: 40 мм,
- Высота: 20 мм,
- Входное напряжение в диапазоне: 85-264 В переменного напряжения,
- Выходное напряжение: 24 В постоянного напряжения,
- Максимальный выходной ток: 220 мА,
- КПД: 76%.

#### 4.1.2 Выбор корпуса

Корпус должен вмещать модули блока питания и генератора. В процессе проектирование прибора рассмотрены корпуса Kradex Z91 (рисунок 4.3), Kradex Z60 (рисунок 4.4) и 11-88 (рисунок 4.5).

Степень защиты всех трех корпусов удовлетворяет требования технического задания. Все три корпуса имеют габариты, которые позволяют разместить все блоки прибора.



Рисунок 4.3 — Корпус Kradex Z91



Рисунок 4.4 — Корпус Kradex Z60



Рисунок 4.5-Корпус 11-88

Несмотря на отмеченные выше преимущества, корпуса Kradex Z60 и 11-88 имеют недостатки.

К недостаткам корпуса Kradex Z60 относится способ крепления частей корпуса: конструкция скрепляется одним винтом по центру корпуса (рисунок 4.6, а) ). Через такую конструкционную особенность разместить блоки прибора в этом корпусе является невозможным.

Конструкционная особенность является недостатком и в корпусе 11-88: за наличие ребер жесткости у места крепления винтов, внутренние размеры

корпуса уменьшены (рисунок 4.6, б) ). Этот фактор делает невозможным монтаж всех блоков прибора в этот корпус.

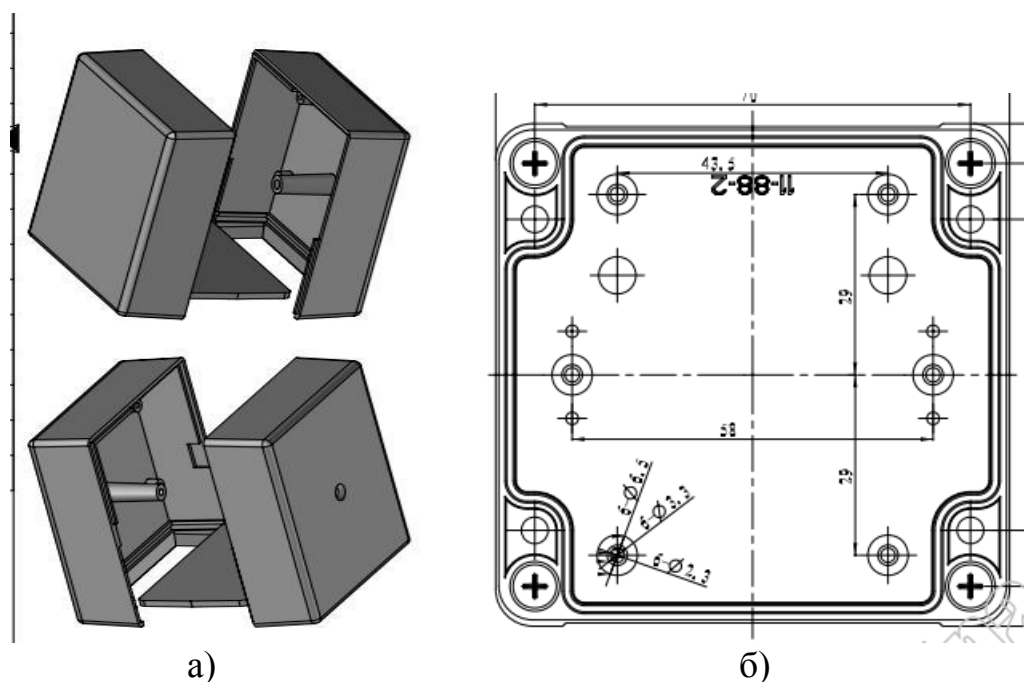


Рисунок 4.6 — Недостатки корпусов а) Kradex Z60, б) 11-88

Был выбран корпус Kradex Z91 со следующими характеристиками:

- Длина: 130 мм,
- Ширина: 100 мм
- Высота: 36 мм,
- Детали корпуса скрепляются с помощью защелок.

В этом корпусе достаточно места чтобы разместить нужные модули не плотно (блоки прибора занимают около 30% внутреннего объема корпуса). Для подвода питания и подключения АЕ предусмотренные громоотводы на боковых стенках корпуса.

#### 4.1.3 Тепловой расчет. Выбор способа охлаждения устройства.

Способ охлаждения влияет конструкцию прибора. Он необходим для обеспечения теплового режима в реальных условиях эксплуатации. Выбор способа охлаждения проведем по методике [18]. Эта методика поможет выбрать оптимальный режим охлаждения.

Главный критерий, определяющий способ охлаждения, является величина плотности теплового потока, проходящего через поверхность теплообмена:

$$g = \frac{P \cdot K_p}{S_{\Pi}}, \quad (4.1)$$

Где :

$P$  – Суммарная мощность, рассеивающая с поверхности теплообмена.  $P = 6,5$  Вт;

$K_p$  – Коэффициент, учитывающий давление воздуха. При атмосферном давлении  $K_p = 1$ ;

$S_{\Pi}$  – Условная величина поверхности теплообмена

$$S_{\Pi} = 2 \cdot [L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2) \cdot L_3 \cdot K_3]$$

Где  $L_1, L_2, L_3$  – соответственно длина, ширина, высота корпуса.

$$L_1 = 0,1$$

$$L_2 = 0,13$$

$$L_3 = 0,036$$

$K_3$  - коэффициент заполнения аппарата  $K_3 = 0,3$

$$S_{\Pi} = 0,031 \text{ м}^2, \quad g = 210 \text{ Вт/м}^2$$

Выбор способа охлаждения делаем по рис. 4.7. Из рисунка видно, что существуют области, в которых можно рекомендовать применение определенного способа охлаждения и области, в которых с одинаковым успехом можно применять несколько способов охлаждения. Области первого типа не заштрихованный относятся к следующим способам охлаждения: 1 — естественное, 3 — принудительное воздушное, 5 — принудительное жидкостное, 9 — принудительное испарительное.

Области второго типа заштрихованы: 2-возможно применение естественного и принудительного воздушного, 4 — принудительного воздушного и жидкостного, 6 - принудительного жидкостного и природного испарительного, 7-принудительного жидкостного и природного испарительного плюс принудительного испарительного способа охлаждения,

8-возможно применение природного и принудительного испарительного способа.

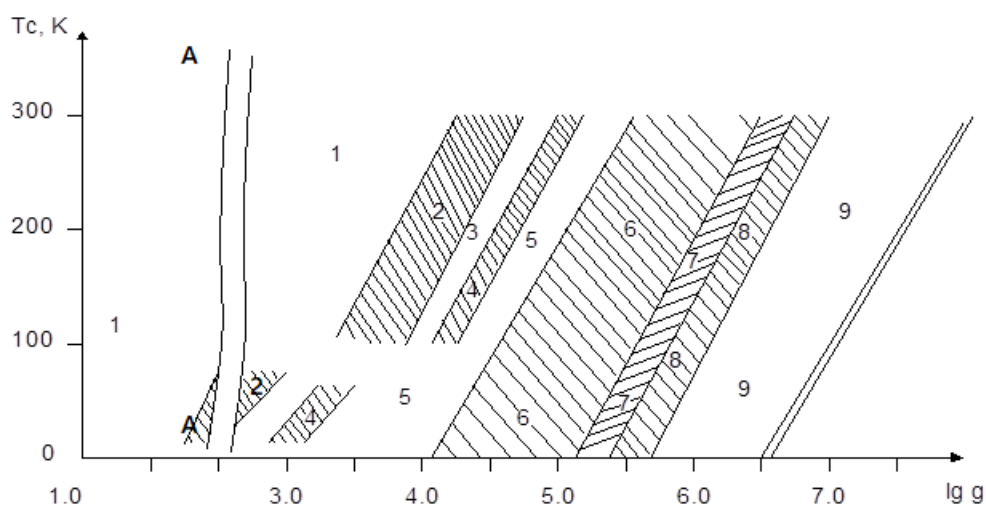


Рисунок 4.7 — Тепловая диаграмма выбора способа охлаждения

Потому что значение выражения (4.1)  $\lg g = 2,3$  малое, то по рисунку 4.7 (тепловой режим характеризует линия AA) для всего допустимого диапазона  $\Delta T^{\circ} C$  при указанном значении  $\lg g$  будет находиться в области N1. Итак, для данного устройства выбираем естественное воздушное охлаждение.

#### 4.2 Описание корпуса распылителя.

Необходимо спроектировать корпус для кольцевого распылителя, изображенного на рисунке 4.8.

Конструктивно решено разработать крышку и корпус (рисунок 4.9), что будут скрепляться метрическими нарезами.



Рисунок 4.8 — Кольцевой распылитель

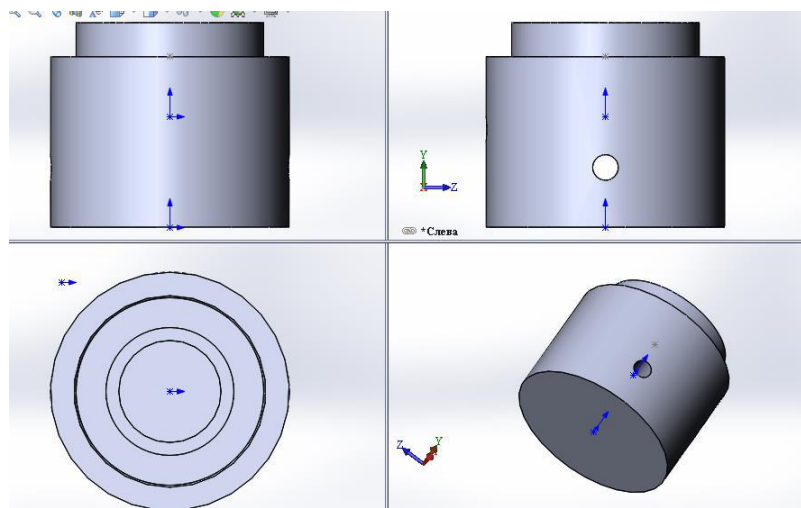


Рисунок 4.9 — Вид корпуса и крышки в сборе

Проектирование проводилось в среде SolidWorks.

### Вывод

Чтобы обеспечить генератор питанием постоянный ток  $U_{жив} = 24 \text{ В}$  и ток не менее  $I = 50 \text{ мА}$ , был выбран блок питания Mean Well PS-05-24. Этот модуль соразмерен по габаритам к модулю генератора. Еще был выбран корпус Kradex Z91 который с лёгкостью может поместит в себя модули блока питания и генератора



## **5 ОХРАНА ТРУДА**

Основной задачей этого раздела является определение основных потенциально-вредных и опасных производственных факторов при разработке электротехнического оборудования, а именно распылителя звукового высокочастотного, а также разработка соответствующих технических решений и организационных мероприятий по безопасности, гигиены труда и производственной санитарии при эксплуатации данного блока питания. Определение основных мер по пожарной безопасности и профилактике в рабочих помещениях.

Поскольку устройство имеет низкую мощность и рабочую частоту, вопросы защиты пользователей от электромагнитного воздействия не является актуальным. Основное внимание уделено вопросам, которые связаны с созданием безопасных и комфортных условий труда пользователей распылителя и вопросам электробезопасности.

### **5.1 Определение основных потенциально вредных и опасных производственных факторов.**

Основными потенциально опасными и вредными факторами, которые имеют место при работе с электрооборудованием, является:

- возможностью поражением электрическим током;
- недостаточным уровнем освещенности или повышенной яркости возможно возникновение пожара;
- Значительно-умственная нагрузка;
- Влияние электромагнитного излучения;
- Наличие шума вентиляторов;
- Несоответствие освещения;
- Неправильная организация рабочего места;
- Возможность поражения электрическим током;
- Монотонность труда.

## **5.2 Технические решения и организационные мероприятия по безопасности и гигиене и производственной санитарии.**

Важную роль играет планировка рабочего места, которая должна удовлетворять требованиям удобства выполнения работ, экономии энергии и времени работника и удобства обслуживания оборудования. Нерациональная конструкция и расположение рабочих мест приводит к вынужденной рабочей позе и напряжения костно-мышечной системы. При длительной работе за экранами приборов у операторов наблюдается выраженное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, раздражительность, нарушение сна, болезненные ощущения в глазах, области шеи и в руках. В связи с этим для работников должны обеспечиваться оптимальные условия труда и отдыха. Труд операторов электротехнических систем относится к I и II классу по гигиеническим условиям труда.

### **5.2.1 Электробезопасность.**

Причинами поражения электрическим током могут быть:

- Касание к токоведущим частям;
- Касание к отключенным токоведущим частям или к конденсаторам, на которых остался остаточный заряд в случае ошибочного включения установки;
- Касание к не токопроводящим металлическим частям при аварийном режиме работы электрооборудования.

Приборы и оборудование питаются от 3-х фазной электрической сети напряжением 220В и частотой 50Гц (системы заземления TN-C).

Согласно ДСТУ ІЕС 61140:2015 электрооборудование, установленное в рабочем помещении должна 0I класс электрозащиты — измерительные устройства.

Производственное помещение согласно ПУЭ-2017 и ДБН.2.5-27 – 2006 относится к помещениям без повышенной опасности поражения персонала электрическим током, поскольку:

- Относительная влажность воздуха не превышает 75%;
- Температура не выше 35С;
- Отсутствуют химически агрессивные среды;
- Отсутствует возможность одновременного прикосновения к металлическим элементам электрооборудования и к металлоконструкциям корпуса, которые соединены с землей;
- Имеет надежное место заземление и зануление.

Проведем проверочный расчет выключающей способности автоматов защиты и выравнивания режима работы элемента, заземления корпусов и электрооборудования. Ток короткого замыкания определяются по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_{н} + \frac{Z_T}{3}} \quad (5.1)$$

Где;

$U_{\phi}=220В$  – Фазовое напряжение;

$R_{\phi} = 2 \text{ Ом}$  – Сопротивление фазового провода;

$R_{н} = 1,6 \text{ Ом}$  – Сопротивление нулевого провода;

$\frac{Z_T}{3} = 2 \text{ Ом}$  – Эквивалентное сопротивление трансформатора.

Получим  $I_{кз} = 57,89А$ .

Для правильной работы автоматов максимальной токовой защиты должна выполняться неравенство:

$$I_{кз} \geq 1,4 I_{от} \quad (5.2)$$

Где  $I_{от}$  – номинальный ток срабатывания автомата защиты. Отсюда определяем, что  $I_{от}$  должен быть не больше, чем 41,35 А. Автоматы, которые используются в рабочих помещениях, имеют номинальный ток срабатывания 20А – 25А, что соответствует данному требованию.

Рассчитаем напряжение прикосновения к зануленному оборудованию при его аварийном режиме работы:

$$U_n = I_{кз} + R_H \quad (5.3)$$

Рассчитанная величина напряжения прикосновения  $U_n = 92,6$  В при времени срабатывания автоматов токовой защиты  $t < 0,5$  с не превышает допустимого значения  $U_{дон} = 100$  В, что удовлетворяет требованиям ПУЭ-2017 (см таблицу 1-12).

Таким образом, нет необходимости в дополнительных средствах по повышению уровня электробезопасности на рабочем месте.

### **5.2.2 Требования к освещенности рабочих мест при работе с измерительными приборами и электронно-вычислительной техникой.**

Одним из элементов, влияющих на комфортные условия труда работающих, является производственное освещение. К системам производственного освещения, обслуживающим рабочие места с лабораторно-измерительными приборами, выдвигаются следующие основные требования:

- Соответствие уровня освещенности рабочих мест характеру выполняемой зрительной работы;
- Равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве;
- Отсутствие резких теней, прямых и отраженных бликов;
- Постоянство освещенности во времени и пространстве;
- Оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- Долговечность, экономичность, электро - и пожаробезопасность, эстетичность, удобство и простота эксплуатации.

Для освещения таких рабочих мест освещенности (КПО) производственных помещений с мониторами компьютеров должен быть не ниже 1,5 %.

Расположение домов и планировки производственных помещений должно исключать чрезмерное поступление тепла от солнечной радиации

через окна и прямое попадание солнечных лучей на устройства ПК и носители информации.

Искусственное освещение в помещениях с мониторами компьютеров необходимо осуществлять по общей системе равномерного освещения. Светильники общего освещения необходимо расположить в виде линий (сплошных или прерывистых) сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователей. Допускается использование светильников таких классов светораспределения:

- Прямого света (П);
- Преимущественно прямого света (Н);
- Преимущественно отраженного света (В).

В качестве источника искусственного освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ с рассеивателями и экранными сетками.

Коэффициент пульсации светового потока источников света не должен превышать 5 %. Для уменьшения коэффициента пульсации светового потока необходимо использовать источники света с высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50° до 90° относительно вертикали в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м<sup>2</sup>, а защитный угол светильников должен составлять не более 40°.

Для ограничения прямой близости от источников природного и искусственного освещения необходимо, чтобы яркость их поверхностей, находящихся в поле зрения пользователей, не превышала 100 кд/м<sup>2</sup>, яркость бликов на экране монитора компьютера 40 кд/м<sup>2</sup>, а яркость потолка 200 кд/м<sup>2</sup>.

В поле зрения пользователя монитора компьютера должно быть обеспечено соответствующее распределение яркости. Отношение значений

яркости рабочих поверхностей к общей яркости в помещении не должно превышать 3:1, а рабочих поверхностей и окружающих предметов (стены, оборудование, мебель) – 5:1.

В производственных помещениях с мониторами компьютеров показатель ослепленности должен быть не более 20 единиц, а показатель дискомфорта – не более 40 единиц.

Для обеспечения нормируемых показателей освещенности в помещениях с электротехническими приборами необходимо не менее 2 раз в год очищать от пыли и грязи стекла окон и светильники и своевременно заменять неисправные светильники.

мест, применяется естественное и искусственное освещение. Согласно требованиям по безопасности защиты работников при работе с экранными устройствами и СанПиН 2.4.2.2821-10 освещение в производственных помещениях с электротехническими приборами должно быть совместимым. Естественное освещение должно осуществляться через проемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток. Согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» коэффициент естественной

### **5.2.3 Пожарная безопасность и профилактика.**

Причины возникновения пожара в рабочем помещении, где используется электротехнические приборы, могут носить электрический и неэлектрический характер.

К причинам электрического характера относятся: короткие замыкания, перегрузки, искрения от нарушения изоляции, электрическая дуга, возникающая между контактами коммутационных аппаратов, неудовлетворительные контакты в местах соединения проводов (скрутки) и их сильный нагрев вследствие большого переходного сопротивления при протекании электрического тока.

Причины неэлектрического характера: нарушение режимных требований, халатное и неосторожное обращение с огнем, нарушение правил пожарной безопасности.

Помещение в соответствии с СП 4.13130.2013 оборудовано четырьмя пожарными датчиками типа ДПС-038 (площадь, находящаяся под защитой одного датчика составляет до 25 м<sup>2</sup>, расстояние между датчиками составляет 4м). Согласно ГОСТ Р 51057-2001 и ISO 3941-77 как первичное средство тушения пожара используется четыре огнетушителя ОУ-3 – углекислый (класс пожара-“Е”). Выбор вещества огнетушителя обосновывается тем, что в огне могут оказаться электрические устройства, находящиеся под напряжением. Количество, размещение и содержание первичных средств тушения пожара полностью удовлетворяет всем требованиям ГОСТ Р 51057-2001 и ISO 3941-77. Кроме этого, в коридоре имеется 2 пожарных крана и ящик с песком. Выдержаны все условия ППБ 01-03"Правила пожарной безопасности в РФ".

Выдержаны все условия СНиП 21-01-97 по огнестойкости домов, времени эвакуации в случае пожара, ширине эвакуационных проходов и выходов из помещений. Двери помещений открываются наружу, ширине дверей 1,3 м при норме не менее 0,8 м, высота прохода 2,2 м при норме не менее 2м, ширина коридора 3м при норме не менее 2м.

В этом разделе определены основные потенциально вредные и опасные производственные факторы, а также предложены необходимые решения и организационные мероприятия по безопасности гигиены и производственной санитарии, определены основные понятия пожарной безопасности и их профилактика.

## **Вывод**

Основное в решении проблемы безопасности труда - забота о человеке. Вместе с тем совершенно очевидно, что неудовлетворительное состояние охраны труда оказывает влияние не только на трудящихся, непосредственно занятых на этом предприятии, но и на окружающее население и природу. Технический прогресс, интенсификация технологических процессов, увеличение масштабов производства привели к тому, что вредное влияние производственных условий распространяется далеко за пределы территории предприятия. В дипломном проекте в силу особенности взятой темы основное внимание было уделено проблеме охраны труда, кроме этого решались задачи создания для человека благоприятных условий на производстве и охраны труда.

Были раскрыты следующие подразделы:

- анализ опасных и вредных производственных факторов;
- организационные мероприятия;
- технические мероприятия;
- санитарно-гигиенические мероприятия;
- противопожарные мероприятия.

Исходя из анализа опасных и вредных производственных факторов, были разработаны мероприятия, способствующие обеспечению безопасных условий труда.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При ультразвуковом распылении определяющим является отрыв капелек жидкости от гребней стоячих капиллярных волн на поверхности полусферических выступов. Образованных парогазовыми пузырьками, пульсирующими у поверхности жидкости и остроконечных вспучиваний, образованных подповерхностными ударными волнами, полученными в результате захлопывания кавитационных пузырьков при условии возникновения на поверхности излучателя кавитационных пузырьков.

В дипломном проекте был разработан ультразвуковой генератор и конструкция распылителя. Особенностью данного прибора является большой коэффициент полезного действия и низкая стоимость ультразвукового генератора. Проведен анализ схемотехнических решений и рынка. Выбрано направление разработки схемотехнического решения. Выполнено разработки структурной и электрической принципиальной схемы, выбрана элементная база, разработана печатная платы и конструкцию распылителя, проведены расчеты, подтверждающие его работоспособность. Согласно выбранного направления разработано схемотехническое решение и спроектирована печатная плата. Ее габариты: ширина: 30 мм, длина: 60мм. Выбран материал для изготовления печатной платы — стеклотекстолит СФ1-35Г толщиной 1,5 мм. Проанализировав техническое задание, выбрана элементная база, которая соответствует заданным условиям эксплуатации. Проведены расчеты надежности печатного узла. Суммарная вероятность безотказной работы при указанном в ТЗ времени  $P=67\%$ . Рассчитана собственная частота колебаний электронного модуля:  $f_0 \approx 66 \text{ кГц}$ . Полученное значение удовлетворяет технической задаче. Таким образом, требования технического задания выполнены.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генераторы электрических сигналов - Studopedia.ru [Электронный ресурс].  
: [https://studopedia.ru/7\\_31951\\_generatori-elektricheskikh-signalov-na-ou.html](https://studopedia.ru/7_31951_generatori-elektricheskikh-signalov-na-ou.html)
2. Классы усилителей - Zvukomaniya.ru [Электронный ресурс]. -  
Режим доступа: <http://zvukomaniya.ru/klassy-usilitelej/>
3. Принципы работы системы фазовой автоподстройки частоты -  
Studopedia.ru [Электронный ресурс]. - <https://studopedia.org/14-71144.html>
4. 100W 28KHZ Ultrasonic Generator Power Board And Transducer  
Vibrator For Supersonic Cleaner 220V AC - aliexpress.com [Электронный  
ресурс].  
<https://aliexpress.ru/item/32918009769.html?spm=a2g0v.10010108.1000016.1.7c9767bcybuOZP&isOrigTitle=>
5. 5L 350ML / H Difusor De Aroma Ultrasonic Air Humidifier Aroma  
Oil Diffuser Ionizer Generator Aromatherapy Ag + Purifier Mist Maker -  
aliexpress.com [Электронный ресурс].  
<https://ru.aliexpress.com/item/3L-350ML-H-Difusor-De-Aroma-Ultrasonic-Air-Humidifier-Aroma-Oil-Diffuser-Ionizer-Generator-Aromatherapy-Ag/32590544396.html?spm=a2g0v.10010108.1000016.1.54f511226d6Kbl&isOrigTitle=>
6. New Arrival 400mL/H Humidifier Ultrasonic Mist Maker Fogger Water  
Fountain Pond Atomizer Air Humidifier Nebulizer— aliexpress.com  
[Электронный ресурс].  
<https://aliexpress.ru/item/32808404015.html?spm=a2g0v.10010108.1000016.1.8de251422snnLo&isOrigTitle=true>
7. ГОСТ 15150-69 [Электронный ресурс]. <https://internet-law.ru/gosts/gost/1837>
8. ГОСТ 16019-2001 <https://internet-law.ru/gosts/gost/6554/>
9. ГОСТ 14254-96 <https://internet-law.ru/gosts/gost/1387/>
10. «Импульс» электронные компоненты <https://www.impulsi.ru>
11. Платы печатные. Основные конструкции ГОСТ 23751-86. -

- [Введения 1987-07-01]. - М.: Государственный стандарт союза ССР, 1986. - 7с.
12. Справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. под ред. Р. Г. Варламова, М., «Сов. Радио », 1973. - 840с.
13. Физико-теоретические основы конструирования электронных аппаратов: Методические рекомендации к выполнению расчетных и контрольных работ для студентов направления подготовки 6.050902 «Радиоэлектронные аппараты»
14. Дульнев Г.Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. - М: Энергия, 1968. - 360с.
15. Filkova I. and Mujumdar A.S. (1995); Industrial Spray Drying Systems; in Mujumdar A.S. (Eds.), Handbook of Industrial Drying (2nd Ed. pp.263-308), Marcel Dekker, Inc.: New York, 1.
16. Ferziger, J.H. and Meric, M., 1999, Computational Methods for Fluid Dynamics, 2nd Ed., Berlin; New York; Springer
17. Huang, L., Kumar, K. And Mujumdar, A.S. (2003a), Use of Computational Fluid Dynamics to Evaluate Alternative Spray Chamber Configurations, Drying Technology.
18. Levi-Hevroni, D.; Levy, A. and Borde, I. (1995), Mathematical Modelling of Drying of Liquid/Solid Slurries in Steady State One-Dimensional Flow; Drying Technology
19. R. Rajan and A. B. Pandit, 2001, Correlations to predict droplet size in ultrasonic atomisation, Ultrasonics.
20. Bittner, B. and Kissel, T., 1999, Ultrasonic atomization for spray drying: a versatile technique for the preparation of protein loaded biodegradable microspheres, Journal of Microencapsulization
21. Southwell, D.B. and Langrish, T.A.G. (2000), Observations of Flow Patterns in a Spray Dryer; Drying Technology