МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ФакультетІнформаційних технологій та електроніки

 (повне найменування факультету)

Кафедра \_\_ Електронних апаратів \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 (повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня магістр

 (бакалавр, спеціаліст, магістр)

напряму підготовки 172 Телекомунікації та радіотехніка

 (шифр і назва напряму підготовки)

на тему

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|

|  |
| --- |
| **Фільтри на поверхневий акустичних хвилях. Сучасний стан та практичне використання** |
|  |

 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виконав: студент групи РЭА-16ДМ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.О. Федоров |
| Керівник | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | О.М. Іванов |
| Завідувач кафедри | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.М. Смолій |
| Рецензент | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.М. Смолій |

 Сєвєродонецьк – 2017

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТУ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет **інформаційних технологій та електроніки**

**Кафедра** електронних апаратів

Освітньо-кваліфікаційний рівень - **магістр**

**Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка**

|  |
| --- |
| **ЗАТВЕРДЖУЮ**Завідувач кафедри Смолій В.М**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**“\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2017 року |

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

**Федорову Вячеславу Олеговичу**

1. **Тема проекту: Фільтри на поверхневий акустичних хвилях. Сучасний стан та практичне використання**

2. Керівник проекту: **Іванов О.М.**

 затверджені наказом вищого навчального закладу від

3. **Строк подання студентом проекту** 10 грудня 2017 р.

4. **Вихідні данні до проекту**:

4.1. Літературній огляд.

4.2. Фізичні ефекти в малих структурах.

4.3. Матеріали для наноелектроніки.

4.4. Охорона праці.

5. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань які необхідно розробити)**

5.1. Список умовних скорочень

5.2. Вступ

5.3. Фізичні принципи функціонування акустоелектронних пристроїв

5.3.1. Види акустичних хвиль в твердому тілі

5.3.2. Методи збудження і реєстрації акустичних хвиль

5.3.3. Фільтри на ПАХ. Принципи дії та основні характеристики

5.3.4. Класифікація фільтрів на ПАХ

5.4. Переваги та недоліки фільтрів на ПАХ

5.4.1. Області застосування фільтрів на ПАХ

5.4.2 Конструкція фільтра на ПАХ. Основні параметри і характеристики

5.4.3 Узгодження з зовнішніми ланцюгами і придушення потрійного луни

5.5. Роль фільтрів на ПАХ в радіоприймачах

5.5.1. Розрахунок смугового фільтра на ПАХ

5.5.2. Технологія виготовлення фільтрів на поверхнево-акустичних хвилях

5.5.3. Конструювання і технологія виготовлення звукопроводу фільтрів

5.5.4. Очищення і металізація звукопроводу

5.5.4.1. Збірка і герметизація фільтра на ПАХ

5.6. Охорона праці

5.6.1. Правові основи охорони праці

5.6.2. Класифікація причин виробничого травматизму і профзахворювань

5.6.3. Розрахунок штучного освітлення виробничих ділянок

5.6.4. Розрахунок штучної вентиляції виробничого приміщення

5.6.5. Протипожежний захист

5.6.6. Загальні положення по екології

5.6.7. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

5.6.8. Заходи з охорони навколишнього середовища

Висновки

Список літератури

6. **Перелік графічного матеріалу**

6.6. Висновки

7. **Консультанти розділів проекту (роботи)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата |
| завдання видав | завданняприйняв |
| Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях  | Купіна О.А |  |  |

8. Дата видачі завдання 10.10. 2017

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №з/п | Назва етапів дипломного проектування | Строк виконання етапів | Примітка |
| 1 | Вивчення літератури з теми проекту | 21.10.17 |  |
| 2 | Формування напрямів і задач дослідження  |  4.11.17 |  |
| 3 | Визначення методів і принципів проведення дослідження | 11.11.17 |  |
| 4 | Дослідження та модулювання об’єктів або процесів | 29.11.17 |  |
| 5 | Аналіз та узагальнення отриманих результатів | 16.12.17 |  |
| 6 | Формування розділів роботи | 23.12.17 |  |
| 7 | Розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях | 26.12.17 |  |
| 8 | Оформлення пояснювальної записки та презентації | 30.12.17 |  |

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Федоров В.О.

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Іванов О.М.

   **СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

АЭУ – акустоэлектронные устройства;

УЗ – ультразвуковая волна;

ОАВ – объемные акустические волны;

ПАВ – поверхностные акустические волны;

АЭВ – акустоэлектронное взаимодействие;

ВЧ – высокочастотный;

ВШП – встречно - штыревой преобразователь;

АЧХ -амплитудно-частотная характеристика;

ФЧХ -фазо-частотная характеристика;

ЛЧМ – линейно – частотно модулированный сигнал;

ТКЛР – температурный коэффициент линейного расширения.

КЭМС – коэффициент электромеханической связи;

COM – теория связанных мод;

ТКЗ – температурный коэффициент задержки.

СОДЕРЖАНИЕ

Список условных сокращений…………………………………………………………………1

Введение………………………………………………………………………………………...4

1.Физические принципы функционирования акустоэлектронных устройств……………...6

1.1. Виды акустических волн в твердом теле………………………………………………....6

1.2. Методы возбуждения и регистрации акустических волн …………………………………………….8

2. Фильтры на ПАВ. Принципы действия и основные характеристики……………………10

2.1. Классификация фильтров на ПАВ ………………………………………………………11

2.2. Преимущества и недостатки фильтров на ПАВ………… ……………………………..12

2.3. Области применения фильтров на ПАВ……. …………………………………………..13

2.4. Конструкция фильтра на ПАВ. Основные параметры и характеристики.. …………...16

2.5. Согласование с внешними цепями и подавление тройного эха……………………......24

3. Роль фильтров на ПАВ в радиоприемниках……………………………………………….28

4. Расчет полосового фильтра на ПАВ……………………………………………………….33

5. Технология изготовления фильтров на поверхностно-акустических волнах…………...44

5.1 Конструирование и технология изготовления звукопроводов фильтров ……………..44

5.2 Очистка и металлизация звукопроводов ………………………………………………...47

5.3. Сборка и герметизация фильтра на ПАВ………………………………………………..50

6. Разработка мероприятий по охране труда и экологии……………………………………55

6.1. Правовые основы охраны труда………………………………………………………….55

6.2. Классификация причин производственного травматизма и профзаболеваний………………………………………………………………………………56

6.3. Расчет искусственного освещенности помещения…………………………………….60

6.4. Расчет искусственной вентиляции производственного помещения…………………..62

6.5. Рекомендации по пожарной безопасности……………………………………………...65

6.6. Общие положения по экологии………………………………………………………….68

6.7. Предельно допустимые концентрации вредных веществ……………………..………68

* 1. Мероприятия по охране окружающей среды……………………………………....72

Выводы…………………………………………………………………………………….…..75

Список литературы……………………………………………………………………………76

  **Введение**

 Акустоэлектроника - это область электроники, посвященная теории и практике создания устройств, основанных на акустоэлектронном взаимодействии и служащих для преобразования и обработки электрических сигналов [1]. В настоящее время созданы различные акустоэлектронные устройства. К линейным пассивным акустоэлектронным устройствам относят устройства частотной фильтрации (фильтры), акустические линии задержки, согласованные (оптимальные) фильтры, или дисперсионные линии задержки, кодирующие и декодирующие устройства. Наибольшее распространение получили акустические фильтры (пьезоэлектрические, электромеханические, фильтры на объемных волнах и поверхностных акустических волнах). Они применяются в различных системах связи от радиовещания и телевидения до космической связи и радиолокации для выделения полезного сигнала на фоне помех, для интегрирования (накапливания) сигнала с определенными характеристиками, для изменения частотного спектра сигнала. Нет, пожалуй, ни одной системы беспроводной радиосвязи, где бы сегодня не использовались фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Эти фильтры используются в сложных приемниках для сотовой связи, телевизорах и оптоволоконных системах передачи данных. По назначению устройства на поверхностных акустических волнах можно разделить на несколько классов: полосовые фильтры для обработки сигналов на промежуточных частотах, линии задержки, резонаторы, фильтры с малыми потерями для входных цепей приемников, антенные дуплексоры для связных приемников, в том числе, систем AMPS, GSM, CDMA. В новом поколении сотовой телефонии IMT-2000 предполагается осуществить разделение доступа с помощью акустоэлектронного конвольвера [1-3]. Дуплексоры это двухканальные фильтры, которые осуществляют разделение по частоте тракта передачи и тракта приема. Дуплексор имеет один вход, соединенный с антенной, и два выхода, присоединенных к выходу передающего тракта и ко входу приемного тракта, соответственно. При этом частотные характеристики в передающем и приемном трактах имеют специальные характеристики для обеспечения максимальной развязки между трактом приема и передачи. Конвольвер это шестиполюсник, формирующий свертку двух сигналов: входного и опорного, используя нелинейные свойства среды распространения упругих волн. Столь широкое применение объясняется малыми габаритами, незначительным весом, отсутствием энергопотребления, технологией изготовления совместимой с производством ИС, возможностью использования корпусов для автоматизированного поверхностного монтажа.

    Фильтры на ПАВ имеют коммерческое применение на частотах от 30 МГц до 3 ГГц. На низких частотах габариты фильтров становятся слишком большими, поэтому вместо них находят применение монолитные фильтры на объемных волнах, выполненные из пьезоэлектрической керамики. На частотах выше 3 ГГц разрешающая способность фотолитографического процесса не позволяет получить высокий процент выхода годных изделий, и цена таких фильтров становится неконкурентной по сравнению с другими решениями. На высоких частотах применяются электромагнитные фильтры на связанных полостях, выполненные из керамики.  Большинство преимуществ ПАВ-устройств обусловлено непосредственно их физической структурой: малым весом и габаритами; линейной (или определяемой требованиями) фазой; фактором формы, приближающимся к единице (очень высокая прямоугольность); исключительным внеполосным подавлением; температурной стабильностью. Поскольку центральная частота и форма частотной характеристики определяются топологией, они не требуют сложной настройки в аппаратуре и не могут расстроиться в процессе эксплуатации. Технология изготовления, совместимая с полупроводниковым производством, позволяет выпускать их в большом объеме с высокой воспроизводимостью. Целью данной работы является исследование акустоэлектронных фильтров.

**1.Физические основы функционирования ПАВ – устройств**

 **1.1. Виды поверхностных акустических волн**

    Поверхностные акустические волны были впервые описаны лордом Релеем в 1885. Распространяясь вдоль поверхности и проникая в глубину на расстояние 2-3 длины волны, именно этот тип волн является самым разрушительным при землетрясениях. Исследование ПАВ с целью применения для обработки радиосигналов начались в послевоенные годы, но вплоть до конца 70-х годов устройства на ПАВ использовались исключительно в военном оборудовании: радарах, космических системах связи. Высокая технологичность и стремительное развитие беспроводной телефонии в 80-е годы обеспечило этим устройствам широкое поле для применения в гражданских приложениях. ПАВ бывают двух типов: с вертикальной поляризацией, у которых вектор колебательного смещения частиц среды расположен в плоскости, перпендикулярной к границе (вертикальная плоскость), и с горизонтальной поляризацией, у которых вектор смещения частиц среды параллелен границе и перпендикулярен направлению распространения волны. Простейшим и наиболее часто встречающимся на практике ПАВ с вертикальной поляризацией являются волны Рэлея, распространяющиеся вдоль границы твердого тела с вакуумом или достаточно разряженной газовой средой. Фазовая скорость волн Рэлея cR=0,9 ct ;где ct – фазовая скорость плоской поперечной волны. В простом случае изотропного твердого тела эта волна содержит продольную и поперечную компоненты, сдвинутые по фазе на п/2 и лежащие в плоскости, определяемой волновым вектором и нормалью к поверхности. Таким образом, в общем случае рэлеевская волна является эллиптически поляризованной. Толщина слоя вещества, приводимого в движение волной Рэлея составляет величину порядка длины волны. Вдоль границы двух твердых сред, плотности и модули которых не сильно различаются, плотности и модули упругости которых не сильно различаются, может распространяться ПАВ Стоунли, состоящая как бы из двух рэлеевских волн (по одной в каждой среде). Фазовая скорость волн Стоунли меньше сl и ct в обеих граничных средах. Кроме ПАВ рэлеевского типа, существую волны с горизонтальной поляризацией (волны Лява), которые могут распространятся на границе твердого полупространства с твердым слоем. Это волны поперечные. Их фазовая скорость заключена в пределах между фазовыми скоростями поперечных волн в слое и полупространстве. Волны Лява распространяются с дисперсией; при малых толщах слоя их фазовая скорость стремиться к скорости ct в полупространстве [1].

 На границах кристаллов могут существовать все те же типы ПАВ, что и в изотропных твердых телах. Только движение частиц в волнах усложняется. Так, на некоторых плоскостях кристаллов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами. Волны Лява подобно волнам Рэлея могут существовать на свободной поверхности (без твердого слоя); это т. н. электрозвуковые волны. Наряду с обычными волнами Рэлея, в некоторых образцах кристаллов вдоль свободной границы может распространяться затухающая волна, излучающая энергию в глубь кристалла (псевдорэлеевская волна). Наконец, в пьезополупроводниковом кристалле возможно воздействие ПАВ с электронами проводимости, приводящее к усилению этих волн.

 В бесконечной пластине существуют два типа нормальных волн: волны Лэмба и сдвиговые нормальные волны. Плоская волна Лэмба характеризуется двумя составляющими смещений, одна из которых параллельна направлению распространения волны, другая перпендикулярна граням пластины. По характеру распределения смещений относительно средней плоскости пластины волны Лэмба делятся на симметричные и антисимметричные. Частный случай симметричной волны Лэмба - продольная волна в пластине, а антисимметричной - изгибная волна. В плоской сдвиговой нормальной волне смещения параллельны граням пластины и одновременно перпендикулярны направлению распространения волны. Простейший вид такой волны - нормальная волна нулевого порядка, в которой смещения одинаковы во всех точках поперечного сечения пластины [2]. На поверхности полубесконечной пьезоэлектрической среды возможно распространение поперечной поверхностной волны, поляризованной параллельно поверхности, и с глубиной проникновения тем меньшей, чем сильнее пьезоэлектрические свойства среды. Это так называемые акустоэлектрические волны или волны Гуляева-Блюштейна. По сравнению с рэлеевскими волнами, глубина проникновения волны Гуляева-Блюштейна вглубь образца существенно больше и может превышать величину 100. Для существования поверхностной акустоэлектрической волны кроме выполнения механических и электрических граничных условий должны быть выполнены условия определенного расположения элементов симметрии кристалла относительно саггитальной плоскости [3].

 **1.2. Методы возбуждения и регистрации акустических волн.**

 Наиболее эффективный и широко распространённый способ возбуждения(приёма) объёмных акустических волн состоит в использовании пьезоэлектрических слоёв (пластин), толщина которых на основной частоте близка к половине длины акустической волны, с электродами, находящимися в акустическом контакте со звукопроводом. В основе этого метода лежит использование для излучения акустических волн обратного пьезоэффекта (деформации пластин под действием электрического поля, приложенного к электродам), и для приёма – прямого пьезоэффекта (возникновение электрического заряда на обкладках-электродах деформированной пьезоэлектрической пластины).

Простейший и наиболее применяемый в настоящее время метод возбуждения ПАВ рассмотрим на примере простейшей линии задержки на ПАВ. Она представляет собой монокристалл пьезоэлектрического материала (обычно ниобат лития - LiNbO3, пьезокварц – SiO2, германий висмута -Bi12GeO20), используемый в качестве звукопровода с нанесенными на его поверхность так называемыми встречно-штыревыми преобразователями (ВШП) (рисунок 1.1) [3].



 Рис. 1.1. Конструкция ЛЗ на ПАВ.

1-входной ВШП; 2-выходной ВШП; 3-пьезоэлектрический звукопровод; 4-генератор электрических сигналов; 5-нагрузка.

Входной ВШП подключается к источнику электрического сигнала (генератору) и создает на поверхности пьезоэлектрического материала (звукопровода) знакопеременное электрическое поле. За счет обратного пьезоэффекта под действием электрического поля в звукопроводе возникают упругие деформации, распространяющиеся в обе стороны от преобразователя. В данном случае (рисунок 1.1) рассматривается ЛЗ с одним выходным преобразователем, взаимодействующим лишь с волной, излучаемой в одном направлении. Благодаря уже прямому пьезоэффекту упругие деформации, распространяющиеся вдоль поверхности звукопровода, сопровождаются возникновением электрического поля, воспринимаемого электрический сигнал в нагрузке ЛЗ. Эффективность электромеханического преобразователя определяется коэффициентом электромеханической связи, который в значительной степени зависит от параметров (вида) материала звукопровода и направления распространения ПАВ (ориентации звукопровода относительно кристаллографических осей пьезоматериала). Наибольшим к2 обладает ниобат лития, однако у него очень высокий ТКЗ = (77÷96)⋅10-6к-1 в зависимости от типа среза. Кварц SТ –среза (yz) обладает нулевым ТКЗ, но у него почти на порядок меньше к2, чем у ниобата лития. Поэтому в зависимости от того какие требования выдвигаются на первый план (малые потери или стабильность времени задержки) используют тот или иной материал.

Период ВШП (расстояние между одноименными электродами) равен длине ПАВ - λ. А расстояние между соседними (разноименными) электродами - λ/2.

 Как известно υ = λƒ

 Отсюда следует, что период ВШП В совокупности со скоростью ПАВ в звукопроводе определяет частоту акустического синхронизма, т.е. частоту на которой наиболее эффективно преобразуется электрический сигнал в ПАВ и наоборот, т.к., ВШП эффективно работает только в том случае, когда длина ПАВ (а длина волны, как уже было сказано, определяет и частоту) равна периоду ВШП. Причем, чем больше во ВШП пар электродов (штырей) тем более узкополосной будет ЛЗ (или фильтр) на ПАВ. Относительная ширина полосы пропускания ПАВ – устройства связана с количеством пар электродов следующим образом:

 (1.1)

где N – количество пар электродов;

 а – коэффициент, учитывающий сужение полосы пропускания при перемножении АЧХ входного и выходного преобразователя а = 0,6÷0,8.

Время задержки сигналов в ЛЗ определяется длиной пути L, необходимого ПАВ между входным и выходным преобразователями, и скоростью распространения ПАВ υ.

t3 =

Максимальное значение перекрытия электродов ВШП называется апертурой преобразователя W. Наиболее оптимальным значение W является W = (100÷200)λ, в зависимости от ширины звукопровода.

 **2. Фильтры на ПАВ. Принципы действия и основные характеристики.**

 Среди всех акустоэлектронных устройств господствующее положение на рынке информационных телекоммуникаций занимают фильтры на ПАВ. Важнейшей особенностью, обеспечивающей постоянное и быстрое внедрение фильтров на ПАВ в современные информационные системы, является отсутствие настройки и возможность совмещения процессов изготовления с микро- и нано технологиями, высокая температурная стабильность, высокая надежность, малые массогабаритные характеристики.

микросхема звукопроводяще фильтр акустическая волна [4].

**2.1. Классификация фильтров на ПАВ**

 Фильтры на ПАВ можно условно разделить на два класса: трансверсальные и резонаторные [3].

 Трансверсальные устройства являются не минимально-фазовыми и позволяют при проектировании независимо задавать АЧХ и ФЧХ сложной формы, например, симметричную АЧХ и линейную фазу, или несимметричную АЧХ и нелинейную фазу. К трансверсальным устройствам на ПАВ относятся: полосовые фильтры, взвешивающие фильтры, согласованные фильтры ЛЧМ, ФМ сигналов, линии задержки, дисперсионные линии задержки, дифференциаторы, частотные дискриминаторы , преобразователи Гильберта и т.д.

 Модель, описывающая в первом приближении трансверсальное устройство на ПАВ, близка к модели цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой.

 Резонаторные устройства являются минимально-фазовыми и могут быть описаны в первом приближении на основе классической теории цепей. К резонаторным устройствам относятся одно-входовые и двух-входовые резонаторы, полосовые лестничные и мостовые фильтры, полосовые фильтры на резонаторах с электрической или акустической связью, фильтры верхних и нижних частот, режекторные фильтры.

 Фильтры на ПАВ имеют коммерческое применение на частотах от 30 МГц до 3 ГГц [4]. На низких частотах габариты фильтров становятся слишком большими, поэтому вместо них находят применение монолитные фильтры на объемных волнах, выполненные из пьезоэлектрической керамики. На частотах выше 3 ГГц разрешающая способность фотолитографического процесса не позволяет получить высокий процент выхода годных изделий, и цена таких фильтров становится неконкурентной по сравнению с другими решениями. На высоких частотах применяются электромагнитные фильтры на связанных полостях, выполненные из керамики.

 Большинство преимуществ ПАВ-устройств обусловлено непосредственно их физической структурой: малым весом и габаритами; линейной (или определяемой требованиями) фазой; фактором формы, приближающимся к единице (очень высокая прямоугольность); исключительным внеполосным подавлением; температурной стабильностью. Поскольку центральная частота и форма частотной характеристики определяются топологией, они не требуют сложной настройки в аппаратуре и не могут расстроиться в процессе эксплуатации. Технология изготовления, совместимая с полупроводниковым производством, позволяет выпускать их в большом объеме с высокой воспроизводимостью.

 В зависимости от области применения к фильтрам предъявляют такие требования [3]:

минимальное искажение в полосе пропускания;

малое вносимое затухание;

требуемая полоса пропускания;

малые потери и пульсации АЧХ в полосе пропускания;

высокий уровень подавления сигнала за полосой пропускания.

 **2.2. Преимущества и недостатки фильтров на ПАВ**

Преимущества [2]:

- чрезвычайно малые габариты (на 2-3 порядка по сравнению с электро- магнитными аналогами);

- высокая температурная стабильность;

- широкий диапазон рабочих частот (1,0 МГц - 15 ГГц);

- малые вносимые потери 1,0-3,0 дБ при полосах пропускания 1-3 %;

- высокая надежность (50-100 тыс. чипов), т.к. число соединений составляет 6-8 вместо нескольких сотен, например, в LC фильтрах;

- высокая повторяемость параметров и низкая стоимость серийном производстве;

- простота регулировки или отсутствие необходимости регулировки вообще.

Недостатки [2]:

- малая рассеиваемая мощность (типичная 20-50 мВт, максимальная 1,0-1,5 ВТ);

- высокие вносимые потери для трансверсальных устройств (10-20 дБ);

- чувствительность к электростатическому разряду.

По относительной величине полосы пропускания фильтры на ПАВ классифицируют на:

 − сверхузкополосные (0,01 % < Δf/f < 0,1 %);

− узкополосные (0,1 % < Δf/f < 1 %);

− среднеполосные (7 % < Δf/f < 10 %);

− широкополосные (10 % <Δf/f < 50 %);

 −сверхширокополосные(50% <Δf/f <100%).

**2.3. Области применения фильтров на ПАВ**

- Радиотелефоны и базовые станции систем связи стандартов GSM, AMPS, CD, IS-59, PHS, PCS, CDMA, W-CDMA, радио удлинители стандартов DECT,WLAN и других (в каждом из 95% радиотелефонов используются 4-5 фильтров и резонаторов на ПАВ);

- мобильные системы связи (персональные и автомобильные радиостанции полиции, диспетчеров, военных);

- приемо-передатчики систем навигации GPS и GLONASS;

- устройства формирования и обработки сложных сигналов в РЛС дальнего и ближнего обнаружения; систем наведения на цель и сопровождения цели; управления воздушным движением;

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

- бортовая и наземная аппаратура спутниковых систем связи;

- радиорелейные системы связи;

- системы телевидения, включая спутниковое и кабельное (канальные фильтры, фильтры для телевизоров, тюнеров, передатчиков, модуляторов);

- устройства дистанционного радиоуправления (замки, взрыватели и т.д.);

- устройства охраны, включая автомобильную сигнализацию;

- датчики давления, влаги, температуры, ускорения, парциального давления газов [4].

 Фильтры промежуточной частоты, полосовые, узкополосные фильтры с емкостным взвешиванием, ДЛЗ с характеристиками, по крайней мере, не уступающими зарубежным аналогам успешно эксплуатируются в составе соответствующих блоков спутниковых ретрансляторов, радиорелейных линий связи. Фильтры для систем и комплексов цифрового телевизионного вещания, разработанные в Украине и серийно освоены в промышленности.

 Одним из перспективных направлений в разработке новейших систем интеллектуального мониторинга является использование инновационных решений в области акустоэлектронных нанотехнологий . Акустоэлектронные нанотехнологии существенно отличаются от других применяемых сегодня в народном хозяйстве технологий, как по функциональным параметрам, так и по ценовым характеристикам. Главное отличие - возможность приема сигнала без использования механических и электрических соединений, позволяющих «снимать» полезную информацию в режиме «онлайн». При этом оператор или пользователь может находиться на некотором расстоянии от контролируемого объекта. Кроме того, новая технология допускает обработку данных множества объектов с помощью вычислительных и программных средств. Так, конструктивные и технологические решения, позволяют проводить мониторинг в экстремальных условиях, например в условиях повышенной радиации или в реактивных средах. Эти отличительные особенности нанотехнологии с использованием техники поверхностных акустических волна позволяют применять данные системы для решения задач обеспечения безопасности объектов и населения. Так, например, использование в системах интеллектуального мониторинга сенсоров или датчиков на ПАВ позволяют создавать системы, наиболее полно отвечающие современным требованиям обеспечения безопасности объектов и населения. Рассматриваемая система в ближайшее время может стать ключевым направлением развития индустрии мониторинга и безопасности. Она имеет широкий спектр применения и открывает новые возможности для существенного повышения (в десятки раз) тактико-технических характеристик систем мониторинга и безопасности. По своей сути варианты ее исполнения являются инновационными, поскольку направлены на создание, главным образом, новой продукции, востребованной рынком систем мониторинга и безопасности. Принцип действия известных прототипов датчиков на ПАВ основан на изменении условий распространения ПАВ при воздействии внешних факторов на подложку. При механическом воздействии на подложку ее поверхность определенным образом деформируется. При этом могут изменяться как линейные размеры звукопровода, так и его упругость и плотность. В результате изменяются скорость ПАВ и время прохождения сигнала от входного встречно-штыревого преобразователя (ВШП) до выходного. Кроме того, между этими преобразователями можно нанести пленку, способную селективно поглощать те или иные вещества из окружающей среды, что также влияет на скорость ПАВ. Как известно, скорость ПАВ зависит и от температуры подложки. Таким образом, появляется принципиальная возможность измерения таких физических параметров, как сила, давление, температура и др. [5]

**2.4. Конструкция фильтра на ПАВ. Основные параметры и характеристики.**

Для реализации фильтров на поверхностных волнах используются пьезоэлектрики, подобные кварцевой пластинке. Однако кварц редко используется для их изготовления. Обычно применяется титанат бария или ниобат лития. Отличие в работе ПАВ фильтров от кварцевых или пьезокерамических заключается в том, что используется не объемное колебание пьезоэлектрика, а волна, распространяющаяся по поверхности. Для того, чтобы не возникало объемных волн, которые могут исказить АЧХ, принимаются специальные конструктивные меры. Возбуждение поверхностной волны на поверхности пьезоэлектрической пластинке обычно производится при помощи двух металлических полосок, нанесенных на ее поверхность на расстоянии λ/2. Для увеличения эффективности преобразователя количество полосок увеличивают. На рисунке 2.1 приведена упрощенная конструкция фильтра на поверхностных акустических волнах [3].

 
 Рис. 2.1. Упрощенная конструкция ПАВ фильтра

На данном рисунке видно как распространяется поверхностная волна и снова преобразуется в электрические колебания при помощи преобразователя, подобного входному. На концах пьезоэлектрической пластинки находятся поглотители акустических волн, которые исключают их отражение. То, что волна распространяется в две стороны означает, что ее энергия делится поровну и половина ее поглощается поглотителем. В результате потери описываемого устройства не могут быть меньше 3 дБ. Еще одним принципиальным ограничением является то, что на выходе приемного преобразователя должна оставаться часть энергии ПАВ. Иначе не удастся реализовать заданную амплитудно-частотную характеристику. В результате потери в полосе пропускания для данного типа фильтров на поверхностных волнах достигает 15 ... 25 дБ

 Принцип работы фильтров на ПАВ подобен принципу работы цифровых фильтров [4]. Импульсная характеристика реализуется за счет длины металлических полосок в выходном пьезопреобразователе. При расчете выбирается идеальная (прямоугольная) амплитудно-частотная характеристика. Пример задания требований к АЧХ полосового фильтра приведен на рисунке 2.2.

 
 Рис. 2.2. Форма идеализированной АЧХ фильтра

Затем для того, чтобы получить импульсную характеристику, производится преобразование Фурье от идеальной АЧХ. Для уменьшения ее длины, а, следовательно, и количества металлических полосок в приемном преобразователе, коэффициенты с малой энергией отбрасываются [6]. Пример подобной импульсной характеристики приведен на рисунке 2.3.

 
 Рис.2.3. Форма дискретной импульсной характеристики ПАВ фильтра

Однако при отбрасывании части коэффициентов форма амплитудно-частотной характеристики искажается. В полосе непропускания появляются области с малым коэффициентом подавления нежелательных частотных компонент. Для того, чтобы уменьшить эти эффекты, полученная импульсная характеристика умножается на временное окно Хемминга или Блекмана-Херриса. Каждый коэффициент будет представлен своей парой электродов в приемном преобразователе акустической волны в электрический сигнал. Пример формы АЧХ фильтра после обработки его импульсной характеристики окном Блекмана-Херриса приведен на рисунке 2.4. На этом же рисунке приведена АЧХ фильтра на поверхностных акустических волнах с учетом неточности изготовления длины металлических полосок преобразователя [4].

 
 Рис. 2.4. АЧХ ПАВ фильтра с применением окна Блекмана-Херриса без учета и с учетом неточности изготовления [4].

Несомненными преимуществами данного вида ПАВ фильтров является отличная форма амплитудно-частотной характеристики. Еще одним их преимуществом является линейная фазовая характеристика, что дает значительные преимущества при создании аппаратуры с использованием цифровых видов модуляции. Однако существенным недостатком является значительное вносимое затухание на центральной частоте полосы пропускания. Это не позволяет использовать данный тип полосовых фильтров в первых каскадах высокочувствительных приемников систем мобильной радиосвязи и сотовых телефонов. По этой же причине нежелательно применение этих фильтров в выходных каскадах радиопередатчиков (выделение значительной части мощности выходного колебания на фильтре приводит к его разрушению).

Поэтому были разработаны ПАВ фильтры, работающие на другом принципе. Основой их построения являются ПАВ-резонаторы. Принцип работы этих резонаторов основан на отражении поверхностной акустической волны (а точнее приповерхностной волны, проникающей вглубь пьезоэлектрика глубже) отражательными решетками. Расстояние между проводящими полосками (или канавками), как и в предыдущем случае, равно половине длины волны. Расстояние между отражателями выбирают кратным длине акустической волны на частоте настройки резонатора. В результате между отражателями возникает стоячая волна. Конструкция ПАВ резонаторов различных видов приведена на рисунке 2.5. [5].

 

Рис. 2.5. Конструкция резонаторов на поверхностных акустических волнах

Благодаря использованию поверхностных акустических волн, частотный диапазон данного типа резонаторов расширен в область высоких частот и может достигать значений нескольких гигагерц. ПАВ-резонатор по своим характеристикам не отличается от обычного кварцевого резонатора, который использует объемные акустические волны. Его электрическая схема соответствует последовательному резонансному контуру. Для обеспечения стабильности характеристик они изготавливаются на кварцевых пластинках. Типовая добротность этого контура составляет 12000 [4]. Эквивалентная схема резонатора на поверхностных акустических волнах приведена на рисунке 2.6.

 
 Рис. 2.6. Эквивалентная схема резонатора на ПАВ.

С применением ПАВ резонаторов реализуются фильтры, подобные обычным [кварцевым фильтрам](http://digteh.ru/Sxemoteh/filtr/quartz/). По такому принципу обычно реализуются узкополосные полосовые фильтры. Их принцип работы основан на хорошо известных фильтрах Баттерворта и Чебышева. Потери в полосе пропускания при этом определяются добротностью резонаторов и могут быть 2 ... 3 дБ, что позволяет использовать этот вид ПАВ-фильтров во входных каскадах приемников и выходных каскадах передатчиков. Наиболее распространена лестничная схема. В качестве примера можно привести схему фильтра-дуплексора [6]:

 
 Рис. 2.7. Схема дуплексора на ПАВ-резонаторах

Еще один вариант фильтра на поверхностных акустических волнах реализуется на резонаторах с двумя преобразователями, конструкция которого показана на рисунке 5б. Его эквивалентная схема приведена на рисунке 8. Подобное схемное решение позволяет развязать вход и выход устройства.

 
Рис. 2.8. Эквивалентная схема резонатора с двумя пьезопреобразователями

Теперь на одной пластинке пьезоэлектрика можно реализовать сразу несколько резонаторов, так как отражатели для одной частоты не влияют на частоте резонанса другого резонатора. Конструкция фильтра на поверхностных волнах с двумя резонаторами показана на рисунке 2.9

 
Рис. 2.9. Конструкция фильтра на поверхностных волнах с двумя резонаторами

Эквивалентная схема этого фильтра приведена на рисунке 2.10. В ней последовательные контура включены параллельно, образуя тем самым два полюса, как в полосовом фильтре Чебышева или Баттерворта второго порядка [5].

 
Рис. 2.10. Эквивалентная схема фильтра на поверхностных волнах с двумя резонаторами [5].

Реализуемая таким фильтром типовая амплитудно-частотная характеристика приведена на рисунке 2.11.

 
 Рис. 2.11. Амплитудно-частотная характеристика фильтра с двумя резонаторами [6].

В промышленно выпускаемых фильтрах используется от четырех до восьми резонаторов. Так как частоты полюсов полосового фильтра отличаются друг от друга незначительно, то отражатели разных резонаторов мы будем воспринимать как один широкий отражатель. Внешний вид ПАВ фильтров с открытой верхней крышкой приведен на рисунке 2.12.

 
Рис. 2.12. Внешний вид ПАВ-фильтров и их кварцевых пластинок.

В качестве наиболее известного отечественного производителя фильтров на поверхностных акустических волнах можно назвать ООО "АЭК" (например, фильтр A177-44.925M1). Для приведения его входного и выходного сопротивления к стандартному значению 50 Ом производитель рекомендует использовать уже хорошо известное нам решение фильтра-трансформатора сопротивлений. А так как это фильтр нижних частот, то он одновременно избавит от проблем неидеальности амплитудно-частотной характеристики в области верхних частот, которые могут вызываться эффектом тройного эха или воздействием объемной волны [3].

**2.5. Согласование с внешними цепями и подавление тройного эха**

    Обсуждение ПАВ-устройств было бы неполным без рассмотрения вторичных эффектов и их влияния на характеристики фильтров. Наиболее сильным нежелательным эффектом является сигнал тройного эха. Этот сигнал вызван отражением от преобразователей в силу двунаправленности последних. Многие инженеры предпочитают использовать ПАВ-фильтры без согласования с внешней нагрузкой, минимизируя тем самым пульсации в полосе пропускания. Однако, это допустимо в случае, если вносимые потери и отражение от электрических входов остаются приемлемыми. Другие инженеры используют простые катушки индуктивности, включенные параллельно или последовательно с преобразователями фильтра, компенсируя тем самым статическую емкость преобразователей. В этом случае, сигнал тройного эха может превысить допустимый предел, и пульсации в полосе пропускания станут чрезмерными [10]. На рис. 2.13 показана частотная характеристика фильтра, включенного без согласующих цепей. Вносимые потери при таком включении составили в этой конструкции 25 дБ.

 

Рис. 2.13. Частотная характеристика фильтра, включенного без согласующих цепей.

    На рис. 2.14 показана импульсная характеристика. Здесь первый (по времени) отклик это электромагнитная наводка. Плохая электрическая развязка между входом и выходом служит причиной быстрых пульсаций в полосе пропускания.

 

 Рис. 2.14. Импульсная характеристика фильтра на ПАВ.

    Разработчик должен принять необходимые меры по экранировке между входом и выходом и хорошему заземлению корпуса. Второй отклик это полезный сигнал, который в целом определяет частотную характеристику. Третий по времени отклик - тройное эхо. В результате интерференции всех трех сигналов, в случае неудачного включения, пульсации в полосе пропускания могут увеличиться больше допустимого предела. На рис. 2.15 показана частотная характеристика того же фильтра, но согласованного оптимальным образом. Вносимые потери уменьшились до 15,5 дБ, но пульсации увеличились. При этом быстрые и мелкие пульсации определяются интерференцией полезного сигнала и электромагнитной наводки, а плавные интерференцией между тройным эхо-сигналом и полезным [11].

 

Рис. 2.15Частотная характеристика фильтра, согласованного оптимальным образом.

    Обычно фирма-производитель рекомендует номиналы согласующих цепей для включения в 50-Ом тракт. Однако, при включении в тракт с комплексным импедансом выбор согласующих цепей становится задачей разработчика. Некоторые фирмы для своих фильтров предлагают библиотеки S-параметров, которые можно использовать в современных САПР для проектирования сквозного радиотракта (например, Serenade-Ansoft или Libra-Hewlett-Packard). В этом случае разработчик получает возможность проанализировать в программе влияние внешних цепей на результирующую характеристику и выбрать оптимальное решение [10].

 **3. Роль фильтров на ПАВ в радиоприемниках**

    Классическая схема построения современного радиотракта может быть представлена на примере блок-схемы PCS-приемника, показанной на рис. 3.1.

 

 Рис. 3.1.Блок-схемА PCS-приемника [3].

    Приемник предназначен для работы в диапазоне 915 МГц, и в нем использованы два типа фильтров на ПАВ (915 и 70,875 МГц) и один керамический на объемных волнах. Требования к массогабаритным характеристикам и к избирательности не позволяют использовать классические конструкции с моточными изделиями. Фильтр на 915 МГц должен обладать малыми потерями и обеспечивать подавление зеркальных каналов не менее, чем на 50 дБ. Фильтр на частоте 70 МГц используется для обработки сигнала на первой промежуточной частоте. К нему предъявляются очень высокие требования по равномерности частотной характеристики в полосе пропускания. Для отстройки от соседних каналов от должен иметь очень крутые скаты и обеспечивать высокое внеполосное заграждение. Всеми перечисленными характеристиками обладает фильтр, разработанный для базовой станции сотовой связи с кодовым разделением доступа CDMA-ONE. Фильтр выполнен на ST-Кварце, который обеспечивает исключительную термостабильность.



Рис. 3.2.Модуль коэффициента передачи (а), импульсная характеристика (б), развернутая полоса пропускания (в) и отклонение фазы от линейной в полосе пропускания (г) [10].

    На рис. 3.2. приведены: модуль коэффициента передачи (а), импульсная характеристика (б), развернутая полоса пропускания (в) и отклонение фазы от линейной в полосе пропускания (г). Вносимые потери составляют 23 дБ, неравномерность частотной характеристики менее 1 дБ. Приведенные характеристики наглядно демонстрируют, что другими средствами невозможно обеспечить столь высокую прямоугольность наряду с хорошей неравномерностью в полосе пропускания [4].



Рис. 3.3Фрагмент радиочастотного тракта c I-Q модуляцией.

    Помимо полосовой фильтрации, устройства на ПАВ используются и для решения более сложных задач. На рис. 3.3 приведен фрагмент радиочастотного тракта c I-Q модуляцией. Для выделения Q-канала использован дополнительный фазовращатель на 90.



Рис. 3.4**.** Фрагмент радиочастотного тракта с фильтром на ПАВ.

    Существует эквивалентное и более красивое решение, использованное в отечественных разработках. На рис. 3.4 функции полосового фильтра и фазовращателя на 90 одновременно выполняет фильтр на ПАВ. При этом схема становится не только проще, но и не требует настройки фазовращателя.

 

Рис. 3.5**.** Частотная характеристика фильтра на 50 МГц с полосой пропускания 6 МГц [10].

    На рис. 3.5 показана частотная характеристика одного из каналов такого фильтра на 50 МГц с полосой пропускания 6 МГц. Разница фаз выходных напряжений в двух выходных каналах может быть отрегулирована внешними элементами с точностью до 0,3.

****

Рис. 3.6.Частотные характеристики ПАВ-устройств, предназначенных для кабельного телевидения [10].

    При планировании коммуникационных сетей приходится учитывать реальную обстановку в эфире. Помехи, не попадающие непосредственно в спектр сигнала, могут ухудшать условия приема. Для борьбы с детерминированными помехами служат заграждающие фильтры. Они пропускают очень широкую полосу частот с малыми потерями, но не пропускают заданную узкую полосу частот. Такие фильтры проектируются на основе мостовой схемы, в плечи которой включаются резонансные элементы на ПАВ. На рис. 3.6 показаны примеры частотных характеристик устройств, предназначенных для кабельного телевидения.

    Особый класс это фильтры с малыми потерями для входных цепей приемников. Такие фильтры используются на частотах от десятков МГц до 3 ГГц, а полосы пропускания от долей процента до 25%. Вносимые потери в таких фильтрах приближаются к 1 дБ. На рис. 3.7 показана частотная характеристика фильтра на 102 МГц с полосой 200 кГц. Этот фильтр выполнен на ST-Кварце, имеет вносимые потери 3 дБ и очень маленькие габариты [11].

 

 Рис. 3.7. Частотная характеристика фильтра на 102 МГц с полосой 200 кГц.

 **4. Расчет полосового фильтра на ПАВ**

Основными параметрами для расчета фильтров являются следующие:

· центральная частота;

· полоса рабочих частот;

· неравномерность АЧХ в полосе рабочих частот;

· уровень внеполосного подавления;

· коэффициент прямоугольности;

· вносимые потери.

Для расчета полосового фильтра на ПАВ зададимся следующими данными:

· центральная частота – 100 МГц;

· полоса рабочих частот – 5%;

· неравномерность АЧХ в полосе рабочих частот – 40Дб;

· уровень внеполосного подавления – 60 Дб;

· коэффициент прямоугольности – 0,85,

· вносимые потери – 10Дб.

Формирование характеристик устройства с аподизованным ВШП происходит за счет изменения фронта излучаемой (принимаемой) ПАВ. При этом все электроды излучают ПАВ одинаковой интенсивности за счет одинаковой амплитуды подаваемого на каждый электрод сигнала.

 Для практической реализации сказанного необходимо осуществить раздельную регулировку напряжений подаваемых на электроды ВШП. Это позволяет выполнять электроды с одинаковым перекрытием, как это представлено в схематических топологиях фильтров на ПАВ с емкостным взвешиванием электродов (см. таблицы 1,2). Возбуждаемые ПАВ представленных в таблицах 1,2 ВШП имеют равномерный волновой фронт по апертуре звукового луча. Такой ВШП может работать в паре с другим ВШП любого типа, в частности с аподизованным или с аналогично взвешенным. Преимущества этого метода заключаются в следующем [6]:

1. 1. Снижаются требования к минимальным размерам по крайней мере в 3; 5 и более раз, и, следовательно при том же комплекте технологического оборудования, в 3; 5 и более раз повышаются рабочие частоты устройств на ПАВ.
2. 2. В соответствующее число раз уменьшается число электродов ВШП и соответственно уменьшается действие вторичных эффектов, связанных прежде всего с переотражениями ПАВ, что в свою очередь уменьшает осцилляции в полосе пропускания устройства на ПАВ и улучшает такую аппаратную характеристику, как межсимвольная интерференция;
3. 3. Уменьшается уровень объемных волн.

 Для расчета фильтра будем использовать математический аппарат предложенный в [5] и основанный на синтезе АЧХ фильтров. Синтез АЧХ фильтров осуществляется согласно процедуре, в которой потенциалы (а не перекрытия, в случае аподизованного ВШП - для чего требуется трехмерное рассмотрение задачи возбуждения ПАВ) задаются в соответствии с весовыми функциями, известными из теории линейных цепей и цифровой обработки сигналов. Или с использованием, например второго полиномиального алгоритма при минимаксном критерии уровня пульсаций АЧХ в полосе пропускания и уровня подавления АЧХ в полосе задержания. Поскольку встречно-штыревые преобразователи являются основными элементами любого фильтра на ПАВ и служат для взаимного преобразования электромагнитного сигнала в акустическую волну, то очень важно иметь адекватную физическую модель преобразователя. До недавнего времени основными методами расчета ВШП были модель дельта-функций и квазистатическое приближение, которые позволяют произвести достаточно точный анализ структур с малым уровнем отражений. В основе первого метода лежит разбиение ВШП на элементарные ячейки вдоль направления распространения волны, причем истинное электроупругое поле под преобразователем заменяется полем элементарных источников, излучающих только ПАВ. Значение максимальной интенсивности в пределах одной ячейки определяется величиной перекрытия соседних электродов. Важным преимуществом этой модели является то, что на частотные свойства ВШП решающее влияние оказывают только его периодичность, число δ-источников и распределение максимального значения интенсивности источников, а не закон распределения электроупругого поля. Второй метод основан на использовании функции Грина для описания поверхностного потенциала и является более точным. Данные методы обеспечивают удовлетворительную сходимость результатов при расчете транверсальных фильтров. Однако, они непригодны для анализа структур с ненулевым уровнем отражений, на которых обычно реализуются ПАВ-фильтры с малыми потерями, поскольку в них не учитывается влияние массовой нагрузки и эффект электрического закорачивания поля. Необходимость расчета структур, работающих на основе внутренних отражений, потребовала разработки двумерной физической модели, учитывающей влияние масс-электрического нагружения на характеристику преобразователя. Математический анализ таких структур до последнего времени был связан с большими трудностями, поскольку для точного моделирования характеристик требовался учет различных вторичных факторов. Использование теории связанных мод (coupling-of-modes-COM) для анализа преобразователей ПАВ, впервые предложенной К.Хартманом и В.Райтом [7], существеннно упростило задачу. Основными достоинствами этой модели являются: простая математическая интерпретация, точное моделирование эффектов отражения внутри преобразователя, отказ от использования модели эквивалентной цепи при расчете параметров ВШП.

При расчетах рассматриваются прелбразователи с малым уровнем потерь и равномерноную структуру ВШП. Для упрощения считают, что урівень преобразований мал. Тогда дифференциальные уравнения, которые описывают распространение ПАВ в электродной структуре имеют вид:

 (4.1)

 (4.2)

 (4.3)

Где R(x,ω) – поверхностная волна в прямом направлении,

 S(x,ω) – поверхностная волна в обратном направлении,

V0(ω) – потенциал преобразователя,

 I(x,ω) – ток в подводимых шинах.

Тогда COM – параметры это: a(k) – амплитуда преобразования, Фа(k) – фаза преобразования, 𝛬T – период преобразователя, L – длина преобразователя, CE – електростатическая емкость на период преобразователя, ω – круговая частота, λ – длина волны ПАВ, VR – фазовая скорость волны, X0 – начальная точка отсчета по оси Х, k0 – волновое число, n – номер гармоники.

Обычно COM – анализ проводят для фундаментальной моды, n=1.

Решение приведенных систем уравнений производится при условии:

Обычно используются Р – матрицы для решения СОМ –уравнений.

Р – матрица показывает связь ПАВ, которые выходят и тока с входными ПАВ и потенциалом преобразователя:

 (4.4)

При записи решения COM – уравнений вводят величину ∆, которая показывает отклонения от центральной частоты волнового вектора:

Тогда решения матриц проводимости для однородного преобразователя с небольшим уровнем внутренних отражений имеют вид:

 (4.5)

 (4.6)

 (4.7)

Коэффициенты отражения (P11) пропускания (P12) преобразователяимеют вид:

 (4.8)

 (4.9)

где параметр ∆ обозначает частотное отклонение от центральной частоты ωс,

k – коефициент отражения от пары электродов,

L – длина структуры ВШП, которая рассматривается.

Подставляя численные данные , приведенные в техническом задании, решаем представленные выше уравнения. На основании решения уравнений 4.1-4.9 получаем структуру ВШП фильтра и его АЧХ. Они представленны на рисунках 4.1. и 4.2.

 

 Рис. 4.1. Структура полосового фильтра на ПАВ.

 p – период ВШП

 

Рис. 4.2. Амплитудно-частотная характеристика полосового фильтра.

Следующей задачей расчета и оптимизации полосового фильтра на ПАВ, является выбор материала звукопровода фильтра.

 Среди всех материалов для массового производства фильтров на ПАВ про­должают лидировать кристаллы кварца , ниобата лития и танталата лития .

а**-кварц** (двуокись кремния) - как природный, так и синтетичес­кий монокристалл, механически прочный (твердость равна 7 по шкале Мооса), плотность равна 2,65 г/см3, температура плавления - 1750 °С. При температуре 573 °С а-кварц превращается в Р-модификацию (высокотемпературный кварц). Кварц химически стоек, он не растворяется во многих щелочах и кисло­тах. Растворяется в плавиковой кислоте и горячих щелочах (при температурах более 500 °С) [6].

Скорости ПАВ в кварце имеют величины порядка 3000 м/с в зависимости от выбранного среза и направления распростране­ния, КЭМС порядка 0,1-0,2 %.

Срезы кристаллов кварца обладают исключительной темпера­турной стабильностью (ТКЗ = 0), однако имеют низкий КЭМС, что ограничивает относительную полосу пропускания фильтров несколькими процентами (4,5 % для ЗТ-кварца) при приемлемом уровне вносимых потерь. Подложки из кварца используются для фильтров каскадов промежуточных частот приемопередатчиков мобильных телефонов, резонаторов, линий задержки, задающих генераторов, дисперсионных линий задержки.

В настоящее время освоено массовое серийное выращивание отно­сительно дешевых монокристаллов кварца размером до 50 мм и мо­носерийное размером до 150-300 мм. Следует отметить, что сто­имость кристаллов нелинейно возрастает с увеличением размеров.

Долгое время ЗТ-кварц был утвержден разработчиками как промышленно-стандартный срез для устройств с повышенными требованиями к температурной стабильности. Однако современ­ная тенденция повышения частот привела к изменению рабочих частот фильтров каскадов промежуточных частот от 50 до 500 МГц. В связи с этим ведется поиск других срезов кварца. В част­ности, хорошие результаты [14] показал новый трехповоротный срез УХз1/-20°/-35,5°/20°. Его температурные свойства анало­гичны ЗТ-срезу. В новом срезе значение КЭМС немного выше, чем у ЗТ-кварца (к2 = 0,137 % по сравнению с 0,11 % для ЗТ-кварца). Большее значение скорости (V = 3444 м/с) предпочтительнее для реализации высокочастотных устройств при заданной топологии и стандартной технологии изготовления. Кроме того, большее, по сравнению с ЗТ-срезом, значение коэффициента отражения ПАВ от алюминиевых электродов позволяет уменьшать толщину элек­тродов и габариты устройств. Однако еще не все свойства нового среза изучены.

В настоящее время кварц продолжает оставаться одним из наи­более освоенных, технологичных и дешевых материалов для АЭУ.

**Ниобат лития** - синтетический бесцветный монокристалл, от­носительно хрупкий (твердость - 5-5,5 по Моосу), плотность со­ставляет 4,7 г/см3, температура плавления равна 1260 °С. Высокое значение КЭМС (порядка 4-5 %) обеспечивает применение ниобата лития для широкополосных устройств (с относительной шириной полосы пропускания 5-50 %) и позволяет реализовать фильтры с вносимым затуханием 10 дБ при числе электродов не более 10 [3].

Отличный от нуля ТКЗ делает невозможным его применение для устройств с повышенными требованиями к температурной ста­бильности. В повернутых срезах 2У/46° и УХ1/128° существует значительное подавление паразитных объемных волн.

Освоено массовое производство монокристаллов ниобата лития размером до 50-80 мм.

**Танталат лития** - механически прочный синтетический моно­кристалл (твердость равна 6,7 по Моосу), плотность составляет 7,3 г/см3, температура плавления - 1560 °С. Это материал, соче­тающий высокую пьезоэлектрическую активность и хорошую тер­мостабильность, по свойствам занимающий промежуточное поло­жение между ниобатом лития и кварцем. Выращиваются крис­таллы танталата лития размером до 120 мм.

Наилучшими свойствами обладает срез танталата лития 2У/112°, его ТКЗ равен 18°10-6/°С, а к2 равен 0,72 %. В этом срезе обеспе­чивается низкий уровень ложных сигналов, вызванных возбужде­нием паразитных объемных волн. Срез 77,1°*У* с направлением распространения ПАВ вдоль оси *2* является срезом с минималь­ной дифракцией [7].

Большие, чем у кварца, значения КЭМС позволяют использо­вать кристаллы ниобата и танталата лития для более широкопо­лосных (до 25 %) устройств со средней величиной вносимых по­терь. Некоторые срезы, такие как 41°-У NЪ03 и 36°-У Та03, имеют большие значения *к2,* что позволяет применять их для ши­рокополосных устройств с низкими потерями, например для филь­тров входных цепей приемопередатчиков мобильных телефонов.

На основании выше приведенного анализа выбираем в качестве материала звукопровода фильтра на ПАВ пьезокварц ****, ST среза.

Его характеристики:

ориентация st, x;

скорость ПАВ ******

коэффициент электромеханической связи 0,16;

температурный коэффициент задержки, ТКЗ=0;

коэффициент поглощения 2,62 дБ/мкс.

 В качестве материала для пленочных ВШП выбираем алюминий с подслоем ванадия. В качестве поглощающего покрытия, которое наносится на торцы звукопровода используем черный воск.

**5. Технология изготовления фильтров на поверхностно-акустических волнах**

**5.1 Конструирование и технология изготовления звукопроводов фильтров**

Наиболее распространенная общая схема изготовления фильтров ПАВ включает в себя следующие основные технологические операции: изготовление пьезоэлектрического звукопровода, изготовление фотооригинала и фотошаблона, металлизация звукопровода, формирование встречно-штыревых структур преобразователей и контактных шин, монтаж, сборка и герметизация фильтра.

Основные параметры фильтров ПАВ: рабочая частота, полоса пропускания, вносимое затухание, температурная стабильность, искажения из-за эффектов второго порядка и т.п. - определяются, в первую очередь, характеристиками материала звукопровода. Поэтому для каждой конструкции выбор материала звукопровода необходимо проводить, исходя из конкретных заданных характеристик фильтра. Для звукопровода могут быть использованы как монокристаллические, так и поликристаллические (пьезокерамические) материалы. Монокристаллы отличаются совершенством структуры, обеспечивающей малые потери на распространение ПАВ (около 0,1...0,5 дБ/см на частотах до 2 ГГц). Кроме того, они стабильны во времени, при серийном изготовлении имеют высокую воспроизводимость параметров.

В фильтрах с полосой до ∆f /f = 2…5 % наиболее широко используется кварц SiO2 различных срезов, так как малый коэффициент электромеханической связи позволяет получить низкий уровень отраженных сигналов даже при числе электродов более 200 - 300. Кроме того, кварц отличается высокой температурной стабильностью, и поэтому могут быть получены кристаллы, позволяющие создать звукопроводы длиной 100...200 мм [11].

Для звукопроводов фильтров с полосой до ∆f /f 0 = 50…60 % применяется в основном ниобат лития LiNbO3, который благодаря большому коэффициенту электромеханической связи ks позволяет уменьшить затухание в фильтре при числе электродов не более 10. Из монокристаллических материалов к числу перспективных для использования в фильтрах ПАВ можно отнести тантала тлития LiTaO3 , германат висмута Bi13 GeО20 , парателлурид ТеО2, селен Se, а также пленки окиси цинка ZnO и нитрида алюминия AlN на сапфире и некоторые другие. Танталат лития LiTaO3 является пока единственным материалом, в котором высокая пьезоэлектрическая активность сочетается с хорошей термостабильностью. Поэтому LiТаО3 в первую очередь представляет интерес для термостабильных фильтров. Германат висмута Bi2 GeO20 является подходящим материалом для линий задержки на большие длительности из-за очень низкой скорости распространения ПАВ и для фильтров со сложной встречно штыревой структурой благодаря относительно большим размерам выпускаемых кристаллов. Недостатком Bi2 GeO20 является высокий ТКЗ. Сочетание низкой скорости и хорошей термостабильности парателлурита ТеО2 делает его перспективным материалом для малогабаритных термостабильных устройств на ПАВ. Интересным для использования в устройствах, управляемых светом, является селен Se, который наряду с высокими пьезоэлектрическими свойствами обладает полупроводниковыми свойствами и фотопроводимостью. Пленки окиси цинка ZnO и нитрида алюминия AlN н асапфире дают возможность использовать не пьезоэлектрическийматериал (сапфир) как в качестве собственно звукопровода фильтра, так и подложки для формирования структуры усилительных каскадов, например, в частотно избирательных микросборках на основе фильтров ПАВ. Благодаря высокой скорости ПАВ пленки AlN перспективны для высокочастотных фильтров [10].

Кроме монокристаллических пьезоэлектриков, для изготовления звукопроводов фильтров ПАВ могут найти применение поликристаллические материалы. Пьезокерамики почти на порядок дешевле монокристаллов, их свойства легко управляются путем изменения химического состава и введения модификаторов. Кроме того, из пьезокерамики возможно изготовление заготовок для звукопроводов различной конфигурации, в том числе и крупногабаритных.

Принципиальными недостатками пьезокерамик, по сравнению с монокристаллами, является значительное затухание распространяющихся ПАВ, резко увеличивающееся счастотой, и пористость поверхности, приводящая к замыканию электродов преобразователей фильтра после металлизации фотолитографии. Оба эти недостатка объясняются зернистостью структуры пьезокерамик. Технологический процесс изготовления звукопроводов фильтров ПАВ в случае использования монокристаллических материалов состоит из следующих основных операций: ориентировки кристаллов и распиловки, предварительной шлифовки заготовок по контуру и по плоскости, точной шлифовки по плоскости, полировки рабочей плоскости. Звукопроводы из пьезокерамики перед распиловкой или шлифовкой поляризуются. При необходимости на нерабочей плоскости звукопроводов выполняются скосы, насечки, канавки и т.д., а торцевые ребра звукопроводов закругляются по радиусу или на них также наносятся насечки. Пазы, прорези, насечки выполняются алмазными дисками с внешней режущей кромкой или ультразвуком [9].

После ориентировки монокристаллы распиливаются сначала на параллельные секции, положения главных плоскостей которых относительно кристаллографических осей определяются необходимым направлением среза. Затем секции разрезаются на заготовки по габаритам, соответствующим отдельным звукопроводам. К качеству обработки рабочей поверхности звукопровода предъявляются высокие требования. Например, на ней должны отсутствовать царапины, сколы, раковины; чистота рабочей поверхности должна соответствоватьклассу∇13 - ∇14 при неплоскостности не более 0,1…0,5 мкм. Эти требования объясняются рядом причин. Хорошая плоскостность поверхности обеспечивает плотное прилегание фотошаблона в процессе фотолитографии. Это, в свою очередь, позволяет повысить воспроизводимость мелких деталей структур фильтров. Качество поверхности звукопровода не только определяет разрешающую способность при формировании структур фильтров посредством фотолитографии, но и существенно влияет на затухания ПАВ, особенно в пьезокерамических материалах, имеющих пористую структуру.

Толщина звукопровода выбирается около 20λ поверхностной акустической волны, для уменьшения влияния объемных волн.

 **5.2 Очистка и металлизация звукопроводов**

Независимо от выбранного метода последующего формирования встречноштыревых структур преобразователей, на поверхность звукопроводов должно быть нанесено проводящее покрытие, к которому предъявляются требования минимального электрического сопротивления, высокой адгезии, однородности по структуре, составу, толщине, отсутствия проколов, наплывов, царапин и т.п., коррозионной стойкости, хорошей растворимости в травителе, технологичности, стабильности основных физико-химических свойств пленки от партии к партии и др. Дополнительными требованиями являются: малое различие акустических сопротивлений материала металлизации Zм и звукопровода Z , низкая удельная плотность во избежание сильных отражений и слабые дисперсионные свойства [11].

Для получения хорошей адгезии воспроизводимости электрофизических свойств нанесенных металлических пленок поверхность звукопровода должна быть хорошо очищена, причем способ очистки в большей степени зависит от метода последующей металлизации. Процедуру очистки можно разделить на этапы предварительной и окончательной очистки. Способ предварительной очистки зависит от характера загрязнений и химических свойств подложки. Основными загрязнениями обычно являются следы масел, жира, отпечатки пальцев, пушинки, разнообразные пылевые частицы. Последовательность операций предварительной очистки может изменяться в широких пределах, а для окончательной, наоборот, должна оставаться неизменной.

Химическая окончательная очистка предусматривает ультразвуковую мойку в горячей воде с растворенным в ней моющим средством, а затем длительное промывание в горячей воде наивысшей достижимой чистоты.

Наиболее широко при изготовлении фильтров ПАВ используются алюминий, серебро, золото, иногда медь с защитой никелем. Некоторые электрофизические, акустические и дисперсионные свойства материалов приведены в табл. П2. Учитывая, что алюминий дешев и позволяет получить сравнительно низкое сопротивление пленочных проводников, в фильтрах ПАВ как со звукопроводами из кварца, так и ниобата лития и пьезокерамики, наиболее часто используется алюминиевое покрытие. Медное или золотое покрытие с подслоем хрома хорошо сочетается с германатом висмута.

С целью получения хорошей электропроводности при незначительных дисперсионных искажениях и для надежности присоединения золотых проводников, например, методом сварки со сдвоенным электродом толщину пленки контактных шин следует выбирать в пределах 250…300 нм. Толщина электродов ВШП может быть уменьшена до 100…200 нм. Для улучшения адгезии алюминия целесообразно использовать подслой ванадия толщиной 30 нм, что позволяет обойтись одним травителем и проводить только одноэтапную фотолитографию [8].

Для осаждения пленок из алюминия, меди, золота, серебра наиболее часто используется термовакуумное напыление. Применение электроннолучевого испарения из тигля этих материалов, например алюминия, позволяет существенно улучшить адгезию к поверхности звукопровода и отказаться от адгезионного подслоя. Катодное и магнетронное распыление обычно используется для получения пленок тугоплавких металлов и диэлектриков. Химическое осаждение применяется, главным образом, для металлизации крупногабаритных звукопроводов длиной свыше 100…180 мм.

При термовакуумном напылении, например, алюминии янаниобат лития или кварц, очищенные звукопроводы сначала прогреваются при температуре 250 ±10°Свтечение 10 ±1 мин для удаления мономолекулярных загрязнений, а так же для снятия механических напряжений и выравнивания потенциального рельефа поверхности. Дл ябольшинства пьезокерамик недопустим перегрев выше 100…430 °С.

После этого звукопроводы охлаждаются до температуры 130 ±10 °С с целью получения малого удельного сопротивления на пыляемых слоев ванадия и алюминия и производится распыление указанных материалов.

Для изготовления фильтров на ПАВ применяется прямой метод контактной фотолитографии. В качестве фоторезиста применяется следующие позитивные фоторезисты – ФП-348, ФП-РН-7, ФП-333, которые тщательно фильтруются и подвергаются скоростному центрифугированию. Толщина наносимого слоя фоторезиста должна составлять не более 0,4-0,8 мкм. После осажденные пленки фоторезиста подвергаются сушке в термокамере типа ТК-1 или сушильном шкафу. При совмещении фотошаблона со звукопроводом при экспонировании применяется метод контактного совмещения, в качестве источника излучения используется ртутно-кварцевые лампы высокого и сверхвысокого давления типов ДРШ-100, ДРШ-250, ДРШ-500. Проявление участка фоторезиста ФП-383 и ФП-РН-7 осуществляется в 2-3% водном растворе тринатрифосфата с глицерином. Щелочи пригодные для проявления фоторезиста ФП-383.

Звукопровод с проявленным фоторезистом тщательно промывается водой и потом сушится на центрифуге, время сушки при температуре 900С-115 минут, затем при 1400С-30 минут. Затем проводится травление открытых участков металлической пленки, в результате чего формируются структура ВШП фильтра. В заключении, остатки фоторезиста смываются с помощью органических растворителей, после чего проводится промывка и сушка готового звукопровода фильтра на ПАВ.

 **5.3. Сборка и герметизация фильтра на ПАВ.**

 Заключительным этапом изготовления ПАВ – устройств является помещение звукопровода с нанесенными на него ВШП в корпус и его герметизация. Корпуса предназначены для защиты элементов и компонентов ПАВ - устройства от климати­ческих (влага, газы) и механических воздействий и светового облучения. Корпус обес­печивает эффективный отвод тепла от тепловыделяющих элементов и компонентов. Металлический корпус осуществляет также экранирование от воздейст­вия электростатических, а в некоторых случаях и магнитных полей. Корпус имеет вы­воды, с помощью которых микросхему монтируют на печатную плату. Контактные площадки звукопровода электрически соединены с выводами корпуса. В зависимости от материалов корпуса делятся на следующие типы: металлостеклянные, стеклянные, керамические, металлополимерные, пластмассовые, полимер­ные.

Основные требования, предъявляемые к корпусу, следующие [3]:

1. механическая прочность и герметичность, обеспечивающие надежную защиту микросхемы от воздействия окружающей среды и механических повреждений;
2. высокая теплопроводность;
3. возможность надежного электрического соединения контактных площадок мик­росхем с выводами корпуса;
4. возможность надежного крепления микросхемы при монтаже в аппаратуре;
5. простота изготовления и герметизации;
6. низкая стоимость.

Первые два требования обычно находятся в противоречии с двумя последними: пока не разработаны простые и дешевые корпуса, способные надежно защищать схему в тяжелых условиях эксплуатации. Испытания показывают, что интенсивность отказав в трудоемких и дорогостоящих керамических корпусах в 3 -10 раз ниже, чем в са­мых дешевых полимерных корпусах. Высокая интенсивность отказов ПАВ - устройств в по­лимерных корпусах объясняется их низкой влагостойкостью. Молекулы воды, размеры которых порядка 3А, проникают внутрь корпуса не только по границам раздела корпус - вывод, но и через толщу полимера.

**Обеспечение герметичности корпуса.** Элементы и компоненты, предна­значенных для работы в условиях повышенной влажности и в атмосфере различных газовых сред, следует помещать в корпуса, обеспечивающие полную герметизацию. Герметичность корпуса достигается применением непроницаемых для влаги и газов материалов и вакуумплотным соединением этих материалов.

В конструкциях корпусов широко используются соединения металлов с метал­лами, стеклом, керамикой и полимерами, керамики с керамикой и стеклом, стекла со стеклом и др. Высокотемпературные стекла и керамику обычно соединяют с помощью промежуточного слоя легкоплавкого стекла. Определенные трудности возникают при образовании вакуумплотных соединений металлов с керамикой и стеклом. Они обу­словлены различными ТКЛР и коэффициентами теплопроводности. Дело в том, что при изготовлении корпуса, сборке микросхемы, эксплуатации детали конструкции подвергаются большим перепадам температуры. Из-за разницы ТКЛР и коэффициентов теплопроводности (разная скорость нагрева деталей) в элементах конструкции возни­кают большие механические напряжения, приводящие к растрескиванию соединений и нарушению герметичности. Опыт показывает, что разница ТКЛР соединяемых мате­риалов должна составлять 1•10-6°С-1 [9].

В зависимости от конструкции корпуса в практике производства находят приме­нение следующие способы герметизации: холодная сварка давлением, электроконтакт­ная конденсаторная сварка, пайка, заливка компаундами, склеивание, опрессовка ком­паундами.

В зависимости от применяемых материалов и конструктивных особенностей ПАВ - устройства используют следующие методы соединений:

1. Cварка
	1. Холодная сварка
	2. Электроконтактная конденсаторная сварка
	3. Аргонно-дуговая сварка
	4. Микроплазменная сварка
	5. Термокомпрессионная сварка
	6. Сварка давлением с косвенным импульсным нагревом
	7. Сварка сдвоенным (расщепленным) электродом
	8. Ультразвуковая сварка
	9. Роликовая сварка
	10. Электроннолучевая сварка
2. Пайка
	1. Пайка припоями
	2. Пайка стеклом

Наиболее широко используется термоомпрессонная и ультразвуковая сварки.

 **Термокомпрессионная сварка** представляет собой сварку давлением с подог­ревом. Необходимое давление прикладывают к инструменту, а рабочая тем­пература обеспечивается нагревом либо инструмента, либо рабочего стола с изделием, либо того и другого одновременно. Рабочая температура поддерживается постоянной в течение всего времени работы установки.

 Пластические, деформации, возникающие в зоне контакта соединяемых деталей, способствуют вытеснению адсорбированных газов и загрязнений. В результате обна­жения чистых поверхностей становится возможным электронное взаимодействие со­единяемых материалов (образование межатомных связей). Получению прочного соеди­нения способствует также ограниченная взаимная диффузия материалов и образование твердого раствора в тонкой приграничной области. Во избежание разрушения соединения вследствие остаточных напряжений мате­риал проволоки должен быть пластичным. С этой целью проволоку предварительно подвергают рекристаллизационному отжигу.

Наилучшей свариваемостью обладают пары Ag - Аu и Аu - Сu, так как им при­суща высокая взаимная диффузия. При сварке Аи и А1 взаимная диффузия приводит к образованию интерметаллических соединений, некоторые из которых обладают хрупкостью или рыхлостью. Удовлетворительной сварки не уда­ется достичь на кремниевых подложках вследствие каталитического влияния кремния. Термокомпрессионную сварку выполняют при невысоких удельных давлениях и температурах. Поэтому для получения больших пластических деформаций диаметр вы­вода не должен превышать 100 -130 мкм. Важным условием выполнения качественно­го соединения является тщательная подготовка поверхности соединяемых деталей (травление, обезжиривание), а также защита их от окисления в процессе сварки (применение защитной среды азота, аргона, и т.д.) [7].

**Ультразвуковая сварка** является разновидностью сварки давлением (холод­ной или с косвенным нагревом).

 Ультразвуковые колебания возбуждаются в магнитострикционном преобразо­вателе и с помощью волновода (концентратора), служащего для увели­чения амплитуды, и сварочного инструмента передаются свариваемым деталям. Энер­гия колебаний преобразуется в сложные напряжения растяжения, сжатия и среза. При превышении предела упругости материала в зоне контакта возникают пластические деформации, и плёнка окисла разрушается, обнажая чистую поверхность. При этом ма­териалы схватываются за счет электронного взаимодействия. Косвенный нагрев инструмента облегчает пластические деформации и улучшает качество соединения. Вначале осуществляется сдавливание соединяемых деталей, да­лее пропускается импульс тока через инструмент, а затем (или одновременно) создают­ся ультразвуковые колебания. К преимуществам ультразвуковой сварки можно отнести: невысокую температу­ру в зоне контакта, возможность соединения трудносвариваемых разнородных мате­риалов (и даже диэлектриков) и невысокие требования к состоянию поверхности. Ограничением метода является требование высокой пластичности материала проводника, так как деформация должна достигать 50 - 60%. Удельные давления долж­ны составлять несколько килограммов на 1 мм2.

Основными параметрами процесса являются амплитуда колебаний (порядка 5 -10 мкм при частоте 40 - 60 кГц) и удельное давление. Время сварки должно быть опти­мальным: при малом времени физический контакт соединяемых поверхностей может оказаться малым, при большом времени наблюдается разрушение узлов схватывания [7].

**6. РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ЭКОЛОГИИ**

Охрана труда - система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических, лечебно профилактических мероприятий, обеспечивающих безопасность, здоровье и работоспособность человека в процессе труда [11].

**6.1. Правовые основы охраны труда**

Служба охраны труда на предприятии и финансирование охраны труда.На предприятии с количеством работающих 50 и более человек работодатель создает службу охраны труда в соответствии с типовым положением, утверждаемым государственным органом исполнительной власти по надзору за охраной труда.  На предприятии с количеством работающих менее 50 человек функции службы охраны труда могут выполнять в порядке совместительства лица, имеющие соответствующую подготовку.  На предприятии с количеством работающих менее 20 человек для выполнения функций службы охраны труда могут привлекаться посторонние специалисты на договорных началах, имеющие соответствующую подготовку.  Служба охраны труда подчиняется непосредственно работодателю. Руководители и специалисты службы охраны труда по своей должности и заработной плате приравниваются к руководителям и специалистам основных производственно-технических служб. Предписание специалиста по охране труда может отменить лишь работодатель.  Ликвидация службы охраны труда допускается только в случае ликвидации предприятия или прекращения использования наемного труда физическим лицом. Финансирование охраны труда осуществляется работодателем. Финансирование профилактических мероприятий по охране труда, выполнению общегосударственной, отраслевых и региональных программ улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды, других государственных программ, направленных на предупреждение несчастных случаев и профессиональных заболеваний, предусматривается, наряду с другими источниками финансирования, определенными законодательством, в государственном и местных бюджетах, которые выделяются отдельной строкой. Для предприятий, независимо от форм собственности, или физических лиц, использующих наемный труд, расходы на охрану труда составляют не менее 0,5 процента суммы реализованной продукции. (Действие части четвертой статьи 19 остановлено на 2004 год согласно Закону № 1344-IV от 27.11.2003) На предприятиях, содержащихся за счет бюджета, расходы на охрану труда предусматриваются в государственном или местных бюджетах и ​​составляют не менее 0,2 процента от фонда оплаты труда. Суммы расходов по охране труда, относящиеся к валовым расходам юридического или физического лица, которое в соответствии с законодательством использует наемный труд, определяются согласно перечню мер и средств по охране труда, который утверждается Кабинетом Министров Украины.

**6.2. Классификация причин производственного травматизма и профзаболеваний**

Методы анализа производственного травматизма. Несоблюдение правил техники безопасности в конечном итоге приводит к травматизму и несчастным случаям на производстве, и, как правило, пострадавшими от этих несчастных случаев являются сами сотрудники предприятия.

Несчастный случай — непредвиденное событие, неожиданное стечение обстоятельств, повлекшее [телесное повреждение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%BD%D0%B0) или [смерть](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D1%8C).

Профессиональные болезни – это группа заболеваний, возникающих исключительно или преимущественно в результате воздействия на организм неблагоприятных условий труда профессиональных вредностей.

Анализ производственного травматизма проводится с целью установления закономерностей возникновения травм на производстве и разработке эффективных профилактических мероприятий. В процессе анализа травматизма должны быть выяснены причины несчастных случаев и разработаны мероприятия по их предупреждению. Для анализа производственного травматизма применяют четыре основных метода: статистический, монографический, экономический, метод физического и математического моделирования [9].

 Статистический метод основан на изучении причин травматизма по документам, которые регистрируют несчастные случаи, за определенный период времени (квартал, полугодие, год), в случае профессиональных заболеваний анализируются данные карт учета профессиональных заболеваний, которые составляются на основании актов расследования случаев профзаболеваний. Для оценки уровней травматизма пользуются относительными показателями (коэффициентами) частоты, тяжести. Коэффициент частоты травматизма.

Кч =N·1000/С, (6.1)

где N - количество несчастных случаев;

С - среднесписочный состав предприятия.

Коэффициент тяжести травматизма

Кт = Д / N , (6.2)

где Д - количество дней нетрудоспособности вследствие несчастного случая.

К разновидностям статистического анализа относят групповой и топографический. Групповой метод анализа травматизма основывается на повторяемости несчастных случаев, независимо от тяжести повреждений наличии материалов расследования распределяется по группам с целью выявления часто повторяющихся случаев (одинаковых по обстоятельствам). Топографический метод заключается в изучении причин несчастных случаев по месту их возникновения; эти места систематически наносятся условными знаками на планы участка, цеха, предприятия. Метод дает наглядные представления о местах сосредоточения травматизма, которые требуют соответствующих профилактических мероприятий.

Монографический метод включает детальное исследование всего комплекса условий, при которых произошел несчастный случай: процессы, оборудование, материалы, защитные средства, условия производственной обстановки и др. В результате и исследования оказываются не только причины несчастных случаев, но и скрытые (потенциальные) опасные и вредные факторы, которые могут привести к травматизму.

Экономический метод заключается в определении экономического ущерба от производственного травматизма, а также в оценке эффективности затрат, направленных на предупреждение несчастных случаев с целью оптимального разделения средств на мероприятия по охраны труда.

Метод физического и математического моделирования применяется на сложных образцах техники. Наряду с традиционными методами анализа травматизма можно отметить некоторые новые направления, характерные для исследования условий безопасности труда и предупреждения травматизма: комплекс методов математической статистики, например, методы дисперсионного и корреляционного анализа; метод научного прогнозирования безопасности труда. Он служит для вероятностной оценки динамики травматизма, предсказания образования неблагоприятных факторов в новых производствах или технологиях и разработки для них соответствующих требований техники безопасности.

В производственном помещении на организм человека и его работоспособность влияют микроклиматические факторы. Микроклимат производственных помещений определяется сочетанием температуры, окружающих поверхностей.

Для предупреждения утомления пользователя предусмотрено создание окружающей обстановки, ограждающей его от воздействия постоянных раздражителей.

Для работ категории 1а, в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [8], обеспечиваются следующие метеорологические условия:

- в холодный период года: температура воздуха 22-24 С°, относительная влажность воздуха 40 – 60 %, скорость движения воздуха не более 0,1 м/с;

- в теплый период года: температура воздуха 23-25 С°, относительная влажность воздуха 40 – 60 %, скорость движения воздуха не более 0,1 м/с.

Для создания и поддержания оптимальных микроклиматических условий, при отсутствии избыточного тепла, влаги, вредных веществ достаточно естественной организованной вентиляции. В жаркое время года проектом предусматривается использование кондиционера БК – 1500 в количестве 1 шт., в холодное — системы централизованного отопления.

В разрабатываемом проекте предполагается использовать совмещенное освещение. В светлое время суток помещение будет освещаться через оконные проемы, в остальное время будет использоваться искусственное освещение.

Искусственное освещение в рабочем помещении предполагается осуществлять с использованиемлюминесцентных источников света в светильниках общего освещения, поскольку люминесцентные лампы обладают высокой световой отдачей (до 75 лм/Вт и более), продолжительным сроком службы (до 10000 часов), спектральным составом излучаемого света, близкого к солнечному. При эксплуатации ЭВМ производится зрительная работа IV разряда. При этом нормируемая освещенность на рабочем месте (Ен) равна 200 лк. Источником естественного освещения является солнечный свет. В помещении, где расположены ЭВМ, предусматривается естественное боковое освещение, уровень которого соответствует СниП 11-4-79 [8].

**6.3. Расчет искусственного освещенности помещения**

Исходые данные: длинна ***а = 14*** (м), ширина ***b*** = 5,8 (м), высота ***Н*** = 4,2 (м). Помещение имеет светлый окрас: Коэффициент отражения ***ρстелі*** = 50 (%), ***ρстін*** = 30 (%), ***ρпідлоги*** = 10 (%). Высота рабочих мест ***hp*** = 0,7 м. Для освещен я выбираем светильники типу ЛПО 02, (тип КСС Г-2), которые крепятся к потолку; расстояние от светильника до потолка ***hc*** = 0,15 м. Минимальная освещенность согласно нормам ***Енорм.*** = 300 лк.

**Решение:**

1. Определяется высота светильников относительно пола:

***h0 = Η – hc*** *= 4,2 – 0,15 = 4,05 (м).*

Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью равна:

***h = h0 – hр*** *= 4,05 – 0,7 =3,35 (м).*

Определяем оптимальное расстояние между светильниками:

***Lопт. = λ · h*** *= 0,77 ·3,35 = 2,5* *(м),*

Где: ***λ*** – коэффициент, который учитывает распределение светового потока в пространстве (для КСС Г-2 ***λ*** = 0,77).

1. Определяем необходимое количество светильников:

* =  = 12 шт.*

**

Рис. 6.1 Схема распределения светильников в помещении

1. Определим показатель помещения:

= = 1,18.

1. Определяем коэффициент светового потока ***η = 69,8*** (%) в зависимотсти от типа светильников:

***ρстелі*** (%), ***ρстін*** (%), ***ρпідлоги*** (%).

1. Определяем световой поток одного светильника:

=  = 657 (лм),

1. По определенной величине ***Fрозр*** выбираем существующую лампу с наиболее близким световым потоком ***Fфакт.***. Это лампа типа ЛХБ15 (675 лм)
2. Определяем фактический уровень освещенности с учетом выбранной ламы ***ЕФАКТ***:

 =  = 51,3 (лк).

1. Определяем коэффициент превышения между ***ЕНОРМ*** и фактическим ***ЕФАКТ*** значениями:

 = = -8,3%

**6.4. Расчет искусственной вентиляции производственного помещения.**

Вентиляция является наиболее эффективным средством для снижения концентрации вредных веществ (газов, паров, пыли), а также снижение тепла и влаги, выделяемых при выполнении ТП и от оборудования.

Основное назначение вентиляции - осуществление воздухообмена, которое обеспечивает удаление из рабочего помещения загрязненного воздуха и подачу чистого воздуха.

Таблица 6.1 – Оптимальные норма температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Период года | Категория работ |  Температура,  | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
| Холодный и переходной | Легкая | 23-25 | 40-60 | 0,1 |
| Теплый | 22-24 | 40-60 | 0,1 |

В производственном помещении, воздухообмен реализуется с помощью естественной и искусственной (механической) вентиляции и кондиционера. Этот метод обеспечивает приток необходимого количества свежего воздуха, который определяется согласно СНиП.

Искусственная вентиляция может быть приточной, вытяжной, приточно-вытяжной, а по месту действия - общеобменной и местной. Поскольку наш цех не имеет окон, то есть нет естественного проветривания, поэтому нужно уделить внимание искусственной вентиляции [10].

Вентиляционные системы и их производительность выбирают и проектируют на основе расчета необходимого воздухообмена.

Согласно СН 245-71 и СНиП 2.04.05-91, количество воздуха, которое обеспечивает необходимые параметры воздушной среды в производственном помещении, определяют расчетом, исходя из объема газо-паро-выделения, выделений пыли, избыточного тепла и влаги (их принято называть собирательным термином «вредности»). За окончательное нужное количество воздуха принимают большее, полученное из расчетов для каждого вида вредности.

Объем V () свежего воздуха, подаваемого в помещение, необходимого для разбавления вредных веществ (в нашем случае свинца), выделяемых в рабочем помещении, до предельно допустимых концентраций, определяется из следующего соотношения:

где – масса вредных веществ, которые выделяются в рабочем помещении в единицу времени ; – предельно допустимая концентрация вредных веществ, ; – содержание вредных веществ в водухе, .

Согласно СН 245-71 , величина не должна превышать 30% ПДК.

Наибольшую сложность представляет определение величины . Для этой цели на основе натурных наблюдений определены средние удельные газо-паро-выделения для различных видов оборудования, устройств уплотнителей, арматуры и других источников выделений при различных эксплуатационных условиях [10].

Предельно допустимые выделения вредных веществ не должны превышать:

где – объем помещения, .

Объем V (м3/ч) свежего воздуха, подаваемого в помещение, необходимого для удаления избыточного тепла рассчитывают по формуле:

где – излишки тепла в помещении, принимается 90 Вт; – массовая удельная теплоемкость, равная ; – плотность воздуха, которая поступает в помещение, принимается ; и –температура воздуха, которая удаляется и подается (перепад температур), составляет 11 °С.

Объем воздуха (м3/ч), удаляемого при расчете местной вытяжной вентиляции принимается в зависимости от характера вредных выделений, а также от скорости и направления их движения:

где – площадь открытого сечения вытяжного устройства, ;

 – скорость движения всасываемого воздуха в этом отверстии (принимается от 0,5 до 1,5 м/с в зависимости от токсичности и летучести газов и паров).

Кратность воздухообмена показывает сколько раз в течение часа воздух в помещении должно быть заменено полностью:

где – кратность воздухообмена, ; – объем воздуха для вентиляции помещения ; – объем помещения, .

Укажем, что в цеху работают 70 работников.

**6.5. Рекомендации по пожарной безопасности**

Пожары в помещениях, где используется электронная техника, представляют особую опасность, так как сопряжены как с угрозой жизни и здоровью людей, так и с отказом средств вычислительной техники, что в свою очередь влечет за собой нарушение хода работ.

Пожар может возникать при внесении источника зажигания в горючую среду. Горючими материалами в помещении, где расположенны электронные приборы, являются:

- полиамид — материал корпуса микросхемы, горючее вещество, температура воспламенения 420 С°;

- поливинилхлорид — изоляционный материал, горючее вещество, температура самовоспламенения 335 С°, температура самовоспламенения 335 С°, удельная теплота сгорания 18000-20700 кДж/кг;

- стеклотекстолит ДЦ — материал печатных плат, трудно горючий материал, показатель горючести 1.74, не склонен к температурному самовоспламенению;

- пластик кабельный №.489 — материал изоляции кабеля, горючий материал, показатель горючести более 2.1;

- древесина — строительный и отделочный материал, материал, из которого изготовлена мебель, горючий материал, показатель горючести более 2.1, удельная теплота сгорания 18731 – 20853 кДж/кг, температура воспламенения 399 С°, склонна к самовозгоранию [10].

Возможными источниками зажигания при работе с электронными приборами могут быть:

- искры при замыкании и размыкании цепей;

- искры и дуги коротких замыканий;

- перегрев проводников, резисторов и других радиодеталей ПЭВМ.

Причинами возможного загорания и пожара могут быть:

- неисправность электроустановки;

- конструктивные недостатки оборудования.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91, обеспечиваются:

- системой предотвращения пожара;

- системой противопожарной защиты;

- организационно – техническими мероприятиями.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91, для предотвращения образования в горючей среде источников зажигания предусматривается:

- применение оборудования, удовлетворяющего требованиям электростатической безопасности;

- применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения возможных источников зажигания;

- исключение возможности появления искрового заряда статического электричества в горючей среде с энергией, равной и выше минимальнной энергии зажигания [9].

В качестве организационно – технических мер рекомендуется проводить обучение рабочего персонала правилам пожарной безопасности.

Для успешного тушения пожаров решающее значение имеет быстрое обнаружение пожара и своевременный вызов пожарных подразделений к месту пожара. Для снижения пожарной опасности в помещении используются первичные средства тушения пожаров, а также система автоматической пожарной сигнализации, которая позволяет обнаружить начальную стадию загорания, быстро и точно оповестить службу пожарной охраны о времени и месте возникновения пожара.

Для предотвращения пожара в вычислительных центрах выполняются следующие требования:

- электропитание ЭВМ имеет автоматическую блокировку отключения электроэнергии на случай остановки системы охлаждения и кондиционирования;

- после окончания работы, перед закрытием помещения, все электроустановки и персональные компьютеры отключаются от сети электропитания.

Для того чтобы прервать реакцию горения, нарушают условия её возникновения и поддержания. Обычно для тушения используют нарушение двух основных условий устойчивого состояния — понижение температуры и режим движения газов [10].

Понижение температуры может быть достигнуто путем введения веществ, которые поглощают много тепла в результате испарения и диссоциации (например, вода, порошки).

В связи с вышесказанным, для снижения пожарной опасности на вычислительном центре предусматривается использовать первичные средства пожаротушения, а также систему автоматической пожарной сигнализации с применением датчиков-извещателей типа ИДФ-1М (в количестве 1 шт.), которые рассчитаны для контроля площади до 100 м2 при высоте потолка до 4 м. В качестве первичных средств пожаротушения, в соответствии с примерными нормами из источника, предлагается использовать:

- ручной огнетушитель ОУ-5;

- воздушно – пенный огнетушитель ОВП-5;

- асбестовое полотно 2х2 м.

**6.6. Общие положения по экологии**

Большинство материалов и веществ, употребляемых в современной промышленности, являются опасными для здоровья и жизни человека.

При производстве разработанного устройства возникает ряд факторов что негативно влияют на окружающую среду. К ним относятся: выбросы в атмосферу газов, пыли, пары, которая содержит вредные примеси; выбросы производственных сточных вод..

Защита воздуха от загрязнения регламентируется предельно допустимыми концентрациями(ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, предельно допустимыми выбросами вредных веществ и временно согласованными выбросами вредных веществ от источников загрязнения. Максимально разовая ПДК устанавливается для предупреждения рефлекторных реакций у человека(ощущение запаха, изменение активности головного мозга и др.) при кратковременном(до 20 хв) действии атмосферного загрязнения, а среднесуточная - с целью предупреждения их общетоксичного влияния.

 **6.7. Предельно допустимые концентрации вредных веществ**

 Предельно допустимые концентрации(ПДК) вредных веществ, используемых в производстве, в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 и ГОСТ 12.1.005-88 приведены в таблице 7.1.

Сокращение и обозначения, которые используются в таблице 7.1, :

ОБУВ - концентрация пестицида в воде рыбохозяйственного водоема, который не оказывает негативного влияния на режим среды и состояние ее жителей; ПДК - государственный гигиенический норматив для использования при проектировании зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного действия что на здоровье работают;

ОДР - ориентировочные допустимые уровни веществ в воде, разработанные на основе расчетных и экспресс экспериментальных методов прогноза токсичности и применимые только на стадии предупредительного санитарного надзора за проектируемыми или предприятиями, что строятся, очистными сооружениями;

ПДК и ОДР в воде приведенные в миллиграмме вещества на 1 л воды(миллиграмм/л).

п - пары и(или) газы;

а - аэрозоль;

ф - аэрозоли преимущественно фиброгенни действия;

сан-токс - санитарно-токсологичний показатель вредности;

токс - токсологичний показатель вредности;

заг - общесанитарный показатель вредности;

орг - органолептический показатель вредности.

Таблица 6.2 – Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименования | Воздух рабочего пространства | Атмосферный воздух населенных мест | Воздух водных объектов водопользования | Вода рыбо хозяйственных водоемов |
| Величина ГДК мг/м3 | Агрессивные состояние | Клас опасности | Особенности воздействия на органы | Величина ГДК мг/м3 | Клас опасности | Величина ГДК мг/л | Лечеший показатель вредности | Клас опасности | Величина ГДК мг/л | Лечеший показатель вредности |
| Максимальная единичная | Среднесуточная |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Ангидрид хромовый | 0,01 | а | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ацетон | 200 | п | 4 | - | 0,35 | 0,35 | 4 | 0,2 | заг | 3 | 0,05 | токс |
| Азотная кислота | 2 | а | 3 | - | 0,4 | 0,15 | 2 | - | - | - | - | - |
| Бензин БР-1 | 100 | п | 4 | - | 0,05 | 0,05 | 4 | 0,1 | орг | 3 | - | - |
| Борная кислота | 10 | а | 3 | - | - | 0,02 | 3 |  | - | - | 0,1 | токс |
| Гетинакс | - | - | - | - | 0,1 ОБУВ | - | - | - | - | - | - | - |
| Глицерин | - | - | - | - | 0,1 ОБУВ | - | - | 0,5 | Заг | 4 | 1,0 | Сантокс |
| Железо хлорное | 10 | а | 4 | ф | - | - | - | 0,3 | Орг | 3 | 0,1 | Токс |
| Капрон | 5 | а | 3 | ф | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Краска ТНПФ-84 | 6 | а | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ксилол | 50 | п | 3 | - | 0,2 | 0,2 | 3 | 0,05 | Орг | 3 | 0,05 | Орг |
| Медь | 1/0,5 | а | 2 | - | - | - | - | 1 | Орг | 3 | 0,005 | Орг |

Продолжение таблицы 6.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Олово хлористое | - | - | - | - | 0,5 | 0,05 | 3 | - | - | - | 1,25 | токс |
| Полиетилен | 10 | а | 4 | - | 0,01 ОБУВ | - | - | - | - | - | - | - |
| Перекись водорода (30%) | - | - | - | - | 0,02 ОБУВ | - | - | - | - | - | 0,01 | токс |
| Растворител | - | - | - | - | 0,12 | 0,12 | 4 | - | - | - | - | - |
| Спирт етиловий | 1000 | п | 4 | - | 5 | 5 | 4 | - | - | - | 0,01 | - |
| Сера | 6 | а | 4 | ф | 0,07 | - | - | - | - | - | 10 | токс |
| Свинець | 0,01 | а | 1 | - | 0,001 | 3⋅10-4 | 1 | 0,03 | ток | 2 | 0,1 | токс |
| Кадмий | 0,05 | а | 1 | - | - | 3⋅10-4 | 1 | 0,001 | токс | 2 | 0,01 | токс |
| Медь | 0,5 | а | 2 | - | - | - | - | 1 | - | 3 | 0,05 | токс |

* 1. **Мероприятия по охране окружающей среды**

Данным проектом предлагаются следующие методы из охраны окружающей среды. Производство должно быть оснащено специальной лабораторией, которая следит за чистотой воздушной среды, что позволяет своевременно обнаруживать и предотвращать загрязнение воздуха водными веществами. Основным направлением, которое обеспечивает чистоту внешней среды, должна быть организация технических процессов, которая исключает выбросы в атмосферу газов, пары, пыли. Для этого предусматривают:

- герметизацию оборудования;

- установление контрольных клапанов;

- очистка газовых выбросов.

Очистка газовых выбросов достигается применением адсорбционного метода очистки, который основан на поглощении вредных примесей поверхностью твердых тел(адсорбентов). Важной особенностью адсорбции является то, что процесс протекает без изменения природы веществ, которые поглощаются, и адсорбента. Это позволяет возвращать поглощенные газы в производство и многократно использовать адсорбент.

Можно предложить следующие мероприятий относительно борьбы с пылью:

 - замена сухих материалов, которые порошат, влажными, пастообразными;

 - замена порошков пилюлями или гранулами;

 - герметизация аппаратуры.

 Если пилевидилення исключить не удается рекомендуется пилеподавлення:

- водяным орошением;

- орошение водой с применением смачивателей(для пыли, которая плохо смачивается водой);

- для обеспыливания выбросов применяют пылеулавливающие устройства.

Для очистки производственных сточных вод, применяется биологический метод удаления органических веществ.

В данном проекте в разделе "Охрана труда и окружающей среды" был проведенный анализ вредных производственных факторов, предложенные мероприятия относительно техники безопасности, относительно производственной санитарии и гигиене труда. Так же были предложенные методы относительно пожарной безопасности и охраны окружающей среды. В подразделении "Мероприятия, которые обеспечивают производственную санитарию и гигиену труда" провели расчет относительно освещенности помещения и его вентиляции.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы и другие водные ресурсы необходимо устанавливать предприятие вдалеке от этих мест. Если на предприятии используется вода, которая потом смахивает в водоем, то она должна проходить очистку в очистных сооружениях или необходимо использовать замкнутый цикл применения водных ресурсов.

Существуют физико-химические методы очистки : сорбция, окисление, ионообмен и экстракция. Этими методами удаляют из сточных вод биологически трудноокисляемые органические соединения, ионы тяжелых металлов, растворены минеральные соли, луга, кислоты, а также токсичные соединения.

В результате выполнения этого раздела были установлены и рассчитаны наиболее опасные производственные факторы. По полученным сведениям были сделаны соответствующие мероприятия по обеспечению благоприятных условий труда и соответствия их установленным нормам

 **ВЫВОДЫ**

 При выполнении данной работы были рассмотрены классификация и принципы действия различных акустоэлектронных устройств. Исследованы физические принципы функционирования фильтров на ПАВ и других акустоэлектронных устройств и виды акустоэлектронного взаимодействия. Проведены проектирование и расчет полосового фильтра на ПАВ. Предложена технология изготовления устройств на поверхностных акустических волнах.

 Разработаны мероприятия по охране труда, эколгии и техники безопасности: проведен расчет искусственной вентиляции производственного помещения, рассмотрены мероприятия пожарной безопасности на производственных участках, при изготовлении электронных приборов. Предложены мероприятия по охране окружающей среды.

 **Список литературы**

1. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты: элементы и устройства на поверхностных акустических волнах, М., Сов.радио, 1980.

2. Речицкий В.И. Радиоэлементы на поверхностных акустических волнах, М., Радио и связь 1984.

3. Каринский С. С. Устройства обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. М., 1975;

4. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах: Применение для обработки сигналов. М., 1982;

5. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. М., 1990;

6. Гуляев Ю. В., Мансфельд Г. Д. Резонаторы и фильтры сверхвысоких частот на объемных акустических волнах: современное состояние и тенденции развития // Радиотехника. 2003. № 8.

7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория упругости, 3 изд., М., 1985.

8.Викторов И. А. «Звуковые поверхностные волны в твердых телах», М.Радио и Связь, 1991.

9.Дмитриев В.М. Устройства интегральной электроники: Акустоэлектроника. Основы теории, расчета и проектирования / В.М. Дмитриев. ГУАП. СПб. 2006. 169 с.

 10.Зеленка И. Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах / И.Зеленка. М.: Мир. 1990. 584 с.

11. Багдасарян А.С. Узкополосные фильтры на поверхностных акустических волнах в системах радиочастотной идентификации / А.С. Багдасарян, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, С.А. Багдасарян, Т.В. Синицына, В.В. Бутенко, О.В. Машинин, В.В. Прапорщиков. Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53, № 7. С. 887-896.

12. Дементий Л.В., Юсина А.Л. Охрана труда: рекомендации по выполнению раздела в дипломном проекте бакалавра для студентов технических специальностей.

13. Дементий Л.В., Юсина А.Л. Охрана труда: рекомендации по выполнению раздела в дипломном проекте бакалавра для студентов технических специальностей.

14. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 50 с

15. Научно-методичный комплекс дисциплины «Основы охраны труда» (НМКДКД). (Эл. вид.). Луганск. ВНУ им. В. Даля, кафедра «ОП та БЖД», 2006 г.

16. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008