

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Схемотехническая часть..... | 6 |
| 1.1 Структурная и принципиальная схема УМЗЧ без ООС | 6 |
| 1.2 Описание структурной схемы | 8 |
| 2 Конструкторская часть | 12 |
| 2.1 Конструкторский анализ работы схемы | 12 |
| 3.2 Выбор конструктивного исполнения УМЗЧ | 12 |
| 2.3 Внутренняя и внешняя компоновка УМЗЧ | 18 |
| 3 Технологическая часть..... | 25 |
| 3.1 Анализ типовых технологических процессов (ТТП) сборки и монтажа печатных узлов..... | 25 |
| 3.2 Составление технологической схемы сборки и монтажа печатного узла | 31 |
| 4 Расчетная часть | 36 |
| 4.1 Электрический расчет компенсационного стабилизатора напряжения с непрерывным регулированием..... | 36 |
| 4.2 Конструкторские расчеты..... | 45 |
| 4.2.1 Расчет площади печатной платы | 45 |
| 4.2.2 Конструктивно-технологический расчет печатного монтажа | 47 |
| 4.3 Расчет надежности..... | 54 |
| 4.4 Технико-экономический расчет | 57 |
| 5 Мероприятия по охране труда, технике безопасности и охране окружающей среды | 72 |
| 5.1 Опасности и вредности при сборке и монтаже РЭА | 72 |
| 5.2 Мероприятия по защите работника от опасностей и вредностей при сборке и монтаже радиоэлектронной аппаратуры | 78 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|---------|-------|------|--------------------------|---------|------|--------|
| | | | | | XXXX XX. XXXX. XX 000 ПЗ | | | |
| | | | | | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | | | |
| Разраб. | | | | | УМЗЧ без ООС | Лит | Лист | Листов |
| Пров. | | | | | | | 3 | 90 |
| | | | | | | Омавиат | | |
| Н. контр. | | | | | | | | |
| Утв | | | | | | | | |

5.3 Мероприятия по защите окружающей среды от продуктов деятельности

| | |
|------------------|----|
| предприятия..... | 85 |
| Заключение..... | 88 |
| Литература..... | 90 |

Введение

Характерной особенностью современных электронных усилителей является исключительное многообразие схем, по которым они могут быть построены.

Усилители различаются по характеру усиливаемых сигналов: усилители гармонических сигналов, импульсные усилители и т. д. Также они различаются по назначению, числу каскадов, роду электропитания и другим показателям.

Однако одним из наиболее существенных классификационных признаков является диапазон частот электрических сигналов, в пределах которого данный усилитель может удовлетворительно работать.

Усилители низкой частоты (УНЧ), предназначенные для усиления непрерывных периодических сигналов, частотный диапазон которых лежит в пределах от десятков герц до десятков килогерц.

Анализируя усилители мощности звуковой частоты высокого класса, в первую очередь внимание обращается на ощущения от прослушивания, а не на данные технического паспорта. Крупные производители такой аппаратуры выделяют несколько составляющих успеха: отсутствие петли ООС, балансный тракт, трехкаскадная схема (входной каскад, усилитель напряжения, усилительно тока), отбор наилучших деталей и применение каждой на своем месте, электроснабжение от мощного трансформатора для выходных транзисторов и стабилизированное питание остальных каскадов.

Еще одно отличие данного усилителя от подобных приборов – расширенный диапазон рабочих частот. Верхний предел частоты, с которой он способен работать 200 кГц. Это связано с широким применением в усилительной технике цифровых источников сигнала, а также появлением динамических головок с расширенной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ).

Проектируемый усилитель мощности звуковой частоты без общей обратной связи не принадлежит к классу высококачественной аппаратуры, но вкупе с качественным источником сигнала, его преобразователем и акустической системой может с успехом заменить многие модели промышленных усилителей типовых конструкций.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 5 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | |

1 Схемотехническая часть

1.1 Структурная и принципиальная схема УМЗЧ без ООС

Принципиальная схема УМЗЧ без общей обратной связи [3] представлена на рисунке 1.1.

Данная схема поясняет принцип работы усилителя мощности звуковой частоты. Проведя анализ схемы можно выделить основные структурные блоки и описать их назначение.

Устройство представляет собой двухтактный многокаскадный усилитель мощности звуковой частоты. Как известно в двухтактных схемах усиления широко используются транзисторы разного типа проводимости. Таким образом, схема каскадов усиления симметрична и различаются лишь типы проводимости транзисторов и расстановка диодов.

Усилительная часть схемы состоит из трех каскадов: входной дифференциальный усилитель, усилитель напряжения, выходной усилитель мощности.

Между усилителем напряжения и входным дифференциальным усилителем действует цепь местной обратной связи.

Также в схеме присутствует узел защиты акустической системы (АС), построенный на активных элементах и реле. Он предназначен для защиты АС от проникновения в ее цепь постоянной составляющей тока и перегрузок. Из дополнительных средств обеспечения безопасного режима работы следует отметить наличие плавких предохранителей в цепи питания оконечного каскада.

Питание усилителя осуществляется от внешнего источника переменного тока. Для его выпрямления используется двухполупериодный выпрямитель и выпрямитель выполненный по мостовой схеме.

В схеме предусмотрена коммутация с источником сигнала и питания, а также подключение АС.

В результате общего анализа схемы можно составить структурную схему. Структурная схема УМЗЧ без ООС представлена на рисунке 1.2.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|--------------------------|--|------|
| | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | 6 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

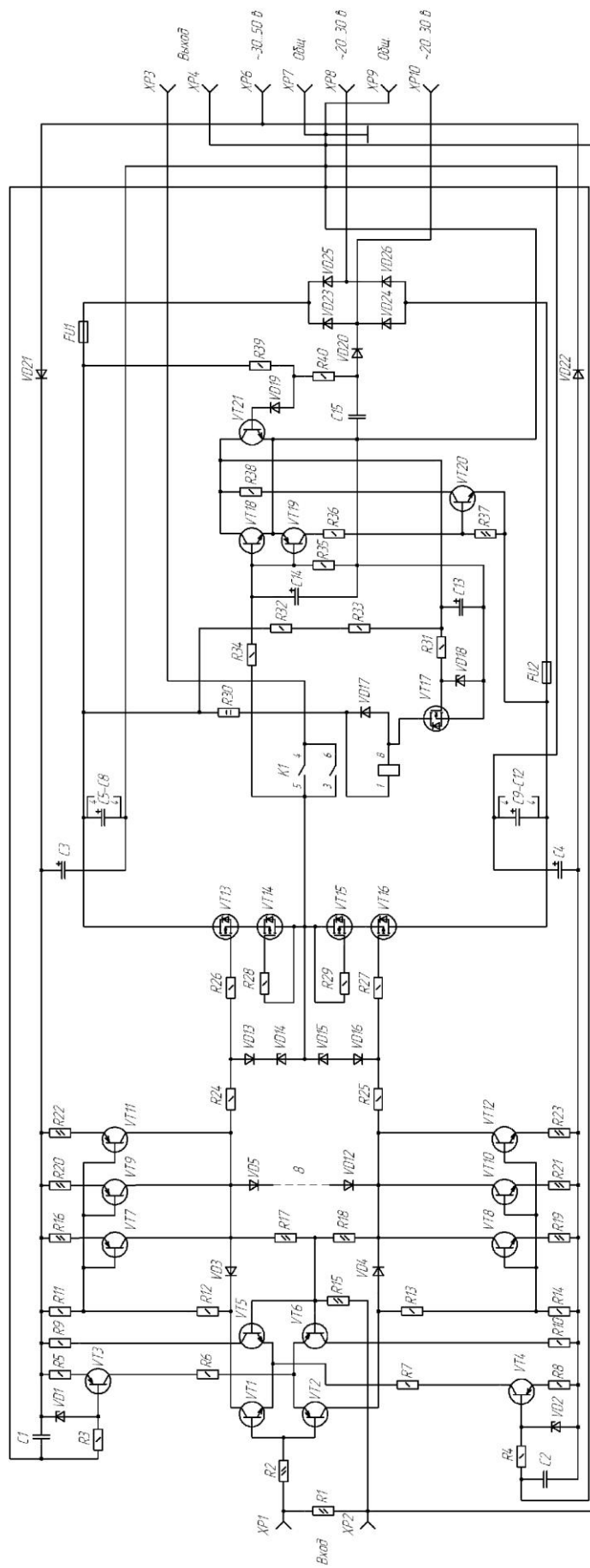


Рисунок 1.1

| | | | | |
|------|------|---------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум | Подп. | Дата |
| | | | | |

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

7

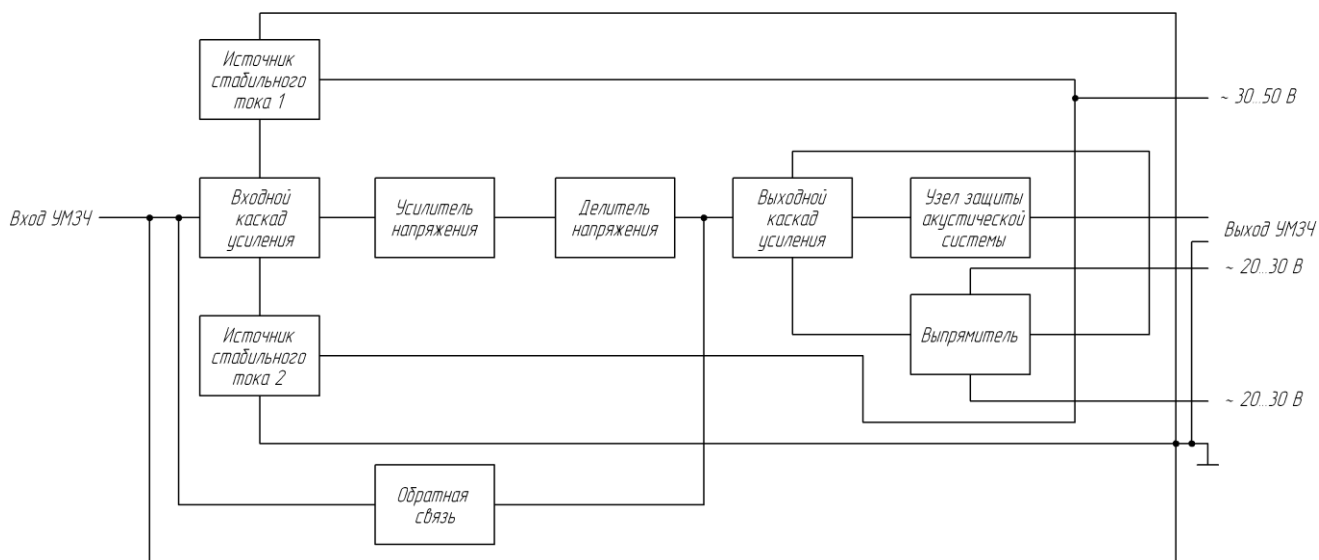


Рисунок 1.2

1.2 Описание структурной схемы

В разрабатываемом УМЗЧ в качестве входного каскада усиления применен дифференциальный усилитель. Он построен на транзисторах VT1, VT5 и VT2, VT6. Следует отметить, что такой вариант обладает следующими плюсами: повышается температурная стабильность, проще ввести цепь обратной связи, каскад обладает сравнительно большим входным сопротивлением.

Входной каскад усиления должен питаться от источника стабильного тока. Это необходимо для снижения уровня шумов и искажения сигнала, так как последующие каскады усиления лишь повысят этот уровень.

Источник стабильного тока 1 собран на транзисторе VT4 и используется для питания транзисторов VT1, VT5. Источник стабильного тока 2 собран на транзисторе VT3 и используется для питания транзисторов VT2, VT6.

За входным каскадом следует усилитель напряжения, выполненный на транзисторах VT7, VT9, VT11 и VT8, VT10, VT12. Транзисторы включены параллельно для увеличения тока управления затворами выходных транзисторов.

Делитель напряжения построен на резисторах R15, R17, R18. Он предназначен для создания напряжения, использующегося в обратной связи.

Выходной каскад – повторитель напряжения, выполненный на комплементарных полевых транзисторах VT13-VT16.

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата |

Он отличается одинаковым выходным сопротивлением и симметричными гармоническими искажениями для сигнала положительной и отрицательной полярности. В этом усилителе применено схемотехническое решение, при котором в двухтактном выходном каскаде в любой момент времени работают два транзистора разной проводимости с одинаковым током стока. Оно позволило сблизить спектры гармоник для сигналов на разных участках амплитудной характеристики, без использования мостовой схемы каскада.

Высокая температурная стабильность выходного каскада не требует применения мер по дополнительной стабилизации тока покоя, с активной нагрузкой его АЧХ линейна до 200 кГц.

Схема узла защиты АС – классическая. Она выполнена на транзисторах VT17-VT21. Также в ее схеме присутствует реле К1.

Одним из критериев качественного результата при разработке усилителей мощности является использование отдельных источников питания для мощных выходных транзисторов. Выпрямитель предназначен для индивидуального питания мощного выходного каскада. Он построен по мостовой схеме и выполнен на диодах VD23-VD26. Для защиты от токовых перегрузок предусмотрено наличие плавких предохранителей FU1 и FU2.

1.3 Описание работы принципиальной схемы

Принципиальная схема одного канала УМЗЧ без ООС представлена на рисунке 2.1.

Усилительная часть схемы состоит из трех каскадов: входной дифференциальный усилитель, усилитель напряжения, выходной усилитель мощности.

Входной каскад – дифференциальный усилитель, выполненный на транзисторах VT1, VT5 и VT2, VT6. По принципу построения – это балансный (мостовой) усилительный каскад параллельного типа. Он обладает высокой стабильностью параметров при воздействии различных дестабилизирующих факторов, большим коэффициентом усиления дифференциальных сигналов и высокой степенью подавления синфазных помех.

По структуре такой каскад, по существу, состоит из двух каскадов, у которых используются общий эмиттерный резистор. Элементы схемы образуют мост, в одну диагональ которого включается источник питания, а в другую сопротивление нагрузки. В

| | | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|--|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | | 9 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | | |

данном случае напряжение входного сигнала прикладывается к базам транзисторов VT1, VT5 и VT2, VT6. Усиленный сигнал снимается с коллекторов указанных транзисторов.

Далее следует усилитель напряжения, построенный на транзисторах VT7, VT9, VT11 и VT8, VT10, VT12. Транзисторы в нем включены по схеме с общим эмиттером. Особенность этого усилителя в том, что транзисторы не насыщаются при максимальной амплитуде выходного напряжения благодаря диодам VD3, VD4. В режиме амплитудного ограничения по напряжению выходного сигнала ток базы транзисторов усилителя напряжения VT7, VT9, VT11 и VT8, VT10, VT12 ограничивается, и они работают в режиме, исключающем режим насыщения. Этим обеспечивается отсутствие задержки выхода из ограничения выходного сигнала по напряжению питания. Транзисторы этого каскада включены параллельно. Это необходимо для увеличения тока управления затворами выходных транзисторов.

С выхода усилителя напряжения через делитель R15, R17, R18 действует сигнал обратной связи. Выходной каскад исключен из цепи обратной связи. Это резко повышает устойчивость усилителя и исчезает потребность в корректирующих конденсаторах.

Выходной каскад – повторитель напряжения. Он выполнен на комплементарных полевых транзисторах.

Как известно такая схема, не обладая усилением по напряжению, обеспечивает значительное усиление по току, а, следовательно, и по мощности. Также данная схема удобна для согласования высокоомных источников сигнала с низкоомной нагрузкой. Это особенно важно, так как акустические системы обладают малым сопротивлением. Таким образом обеспечивается решение сразу двух задач: максимальное усиление по мощности и согласование низкоомной нагрузки с высокоомным выходом усилителя. Этот каскад отличается одинаковым выходным сопротивлением и симметричными гармоническими искажениями для сигнала положительной и отрицательной полярности. В любой момент времени работают два транзистора разной проводимости с одинаковым током стока. Это позволяет сблизить спектры гармоник для сигналов на разных участках амплитудной характеристики.

Высокая температурная стабильность выходного каскада не требует применения мер по дополнительной стабилизации тока покоя. С активной нагрузкой его амплитудно-

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 10 |

частотная характеристика линейна до 200 кГц.

Для того чтобы усилитель не оказывал существенного влияния на частотные свойства тракта звуковоспроизведения, его максимальная рабочая частота должна превышать частоту среза высокочастотной динамической головки на порядок. Данный усилитель способен работать с акустической системой, имеющей расширенную амплитудно-частотную характеристику (выше 20 кГц).

За выходным каскадом усиления следует узел защиты акустической системы. Он построен на транзисторах VT17-VT21. В его схеме также присутствует реле. При подаче питания действует задержка на подключение нагрузки на 10 секунд. При наличии постоянной составляющей на выходе усилителя более $\pm 0,6$ В происходит отключение нагрузки размыканием контактов реле. При выключении питания производится отключение акустической системы в течение 0,2 с. Защита от токовых перегрузок в усилителе основана на ограничении тока стока мощных транзисторов через ограничение напряжения на затворах стабилитронами и диодами VD13, VD14 и VD15, VD16. Максимальный ток через выходные транзисторы не превышает 7 А. В документации на транзисторы VT13-VT17 указано наличие встроенного двуханодного стабилитрона в цепи затвор—исток на 15 В, это позволяет защитить затвор от пробоя при более высоких амплитудах управляющего напряжения.

Коэффициент усиления по напряжению холостого хода усилителя $K_u = 51$ (34 дБ).

Также в схеме присутствует однофазный двухполупериодный мостовой выпрямитель на диодах VD23-VD26. Как известно такая схема получила широкое распространение в современных выпрямительных устройствах. Его назначение – питание мощного выходного каскада.

Питание входного усилителя и усилителя напряжения осуществляется через двухполупериодный выпрямитель, выполненный на диодах VD21, VD22.

Основные технические характеристики проанализированной схемы:

- максимальная выходная мощность, Вт, на нагрузке 4 Ом110;
- максимальная выходная мощность, Вт, на нагрузке 8 Ом120;
- чувствительность, В0,7;
- полоса рабочих частот при неравномерности 3 дБ, Гц 20—200000.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 11 |

2 Конструкторская часть

2.1 Конструкторский анализ работы схемы

Схема УМЗЧ без ООС приведена на рисунке 1.1. Анализ требований технического задания и приведенный в схемотехнической части анализ работы схемы позволяет сделать следующие выводы:

1 Прибор будет выполнен в виде моноблока с возможностью работы от внешнего источника питания. Это конструктивно и функционально законченный блок настольного исполнения.

2 Простота схемы позволяет выполнить ее в виде единой конструктивной функциональной ячейки.

3 Все элементы схемы будут размещены на печатной плате, за исключением плавких предохранителей.

4 В приборе будет находиться 15 конденсаторов (12 полярных, 3 неполярных), 20 диодов (5 стабилитронов), 21 транзистор (5 полевых, 16 биполярных), реле.

5 Элементы внешнего подключения прибора: разъем для подключения АС, разъем для подключения источника сигнала, разъемы для подключения источника питания.

6 Так как устройство будет работать в условиях отапливаемых помещений в качестве наземной стационарной аппаратуры, то дополнительных мер по защите от механических и климатических воздействий не требуется.

3.2 Выбор конструктивного исполнения УМЗЧ

Один из этапов разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) – выбор конструктивного исполнения. От выбора конструкции будущего изделия зависят его эксплуатационные характеристики, надежность.

Выбирая вариант корпуса для РЭА обычно анализируют уже существующие и рекомендуемые конструкции. Их эскизы представлены на рисунке 2.1.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 12 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

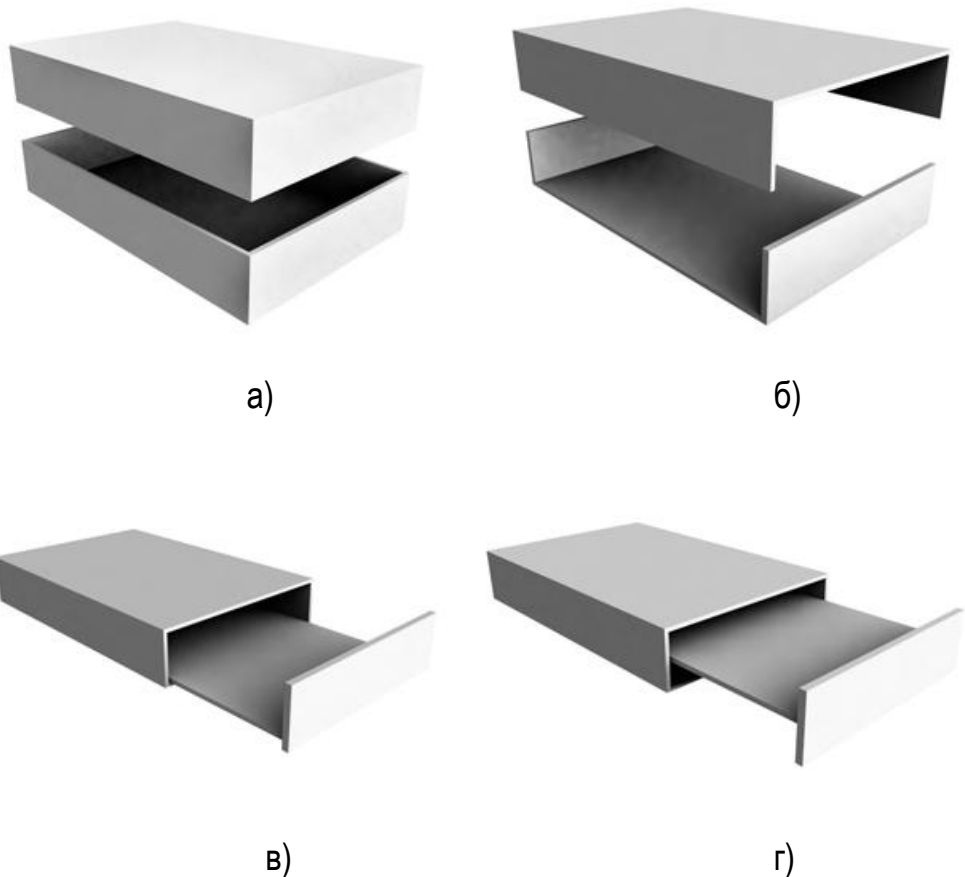


Рисунок 2.1

Из четырех рассматриваемых вариантов конструктивного исполнения был выбран вариант, изображенный на рисунке 2.1, б. Это моноблок настольного исполнения в форме прямоугольного параллелепипеда, состоящий из двух П-образных деталей: П-образное основание и П-образная крышка. Эскиз варианта конструктивного исполнения УМЗЧ представлен на рисунке 2.2.

Так как разрабатываемый прибор принадлежит к классу наземной бытовой стационарной аппаратуры, то помимо соблюдения технических характеристик также необходимо учесть и эстетическое значение внешнего вида конструкции, простоту и безопасность его эксплуатации.

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата |



Рисунок 2.2

Простота подключения и эксплуатации УМЗЧ обеспечивается отсутствием органов управления и индикации. На заднюю панель усилителя вынесены лишь средства коммутации. После подключения источника сигнала, акустической системы (АС), питания прибор готов к эксплуатации.

Анализируя опыт фирм занимающихся разработкой и производством бытовых усилителей мощности звуковой частоты и сопутствующей техники [1] (фильтрующее оборудование, акустические системы, преобразователи сигналов) можно отметить, что в широком ассортименте материалов для корпуса устройства предпочтение отдается, как правило, алюминию. Это можно объяснить тем, что данный металл обладает множеством полезных качеств. Малый вес, низкая стоимость, высокая электро- и теплопроводность, достаточная прочность, простота обработки позволяет изготавливать из него даже крупногабаритные конструкции. Высокая электропроводность позволяет использовать корпус прибора в качестве экрана от посторонних наводок окружающей аппаратуры и защитить ее от работающего прибора. Это особенно важно в аппаратуре такого класса, где любое искажение сигнала недопустимо.

Как известно высокая теплопроводность алюминия нашла широкое применение в

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 14 |

электротехнике и радиоэлектронике. Наряду с медью из него изготавливают радиаторы и теплоотводящие конструкции. Кроме того, это позволяет использовать даже сам корпус устройства в качестве радиатора для наиболее мощных элементов схемы. Обладая высокой технологичностью, алюминий также после специальной обработки может обладать высокими эстетическими показателями. Обычно в качестве декоративной отделки применяют операции матирования, полирования, анодирования. Эти операции позволяют получать различные поверхности и дают достаточно качественное декоративное оформление.

Разрабатывая конструкцию РЭА необходимо обеспечить нормальный тепловой режим для всех элементов устройства. Это связано с тем, что увеличение тепловой нагрузки на РЭА, как правило, приводит к значительному снижению надежности работы устройства. В бытовой аппаратуре большая часть тепла происходит за счет теплопроводности и конвекции. Естественное воздушное охлаждение является наиболее простым, надежным и дешевым способом охлаждения РЭА, не требующим затрат дополнительной энергии. Для его реализации на кожухе выполняется перфорация, что позволяет воздуху свободно циркулировать. Следует отметить, что такой метод позволяет снизить перегревы внутри корпуса на 20—25%.

Конструкция корпуса прибора представляет собой две П-образные детали и передней панели, объединяющихся в единую конструкцию с помощью винтов. Эскиз приведен на рисунке 2.2.

Основание является несущим и выполняется из листового алюминия методом штамповки. На него с помощью винтов закрепляется верхняя крышка, а также передняя декоративная панель. Нижнее основание играет роль несущей конструкции и теплоотвода, поэтому к нему не предъявляется высоких эстетических требований. В целях улучшения теплового режима устройства на нижнем основании выполнена перфорация. На рисунке 2.3 показаны разделенные основание и крышка, а также перфорация основания.

Крышка и передняя панель также выполняются из листового алюминия методом штамповки. На крышке также выполнена перфорация для обеспечения свободной циркуляции воздуха.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 15 |

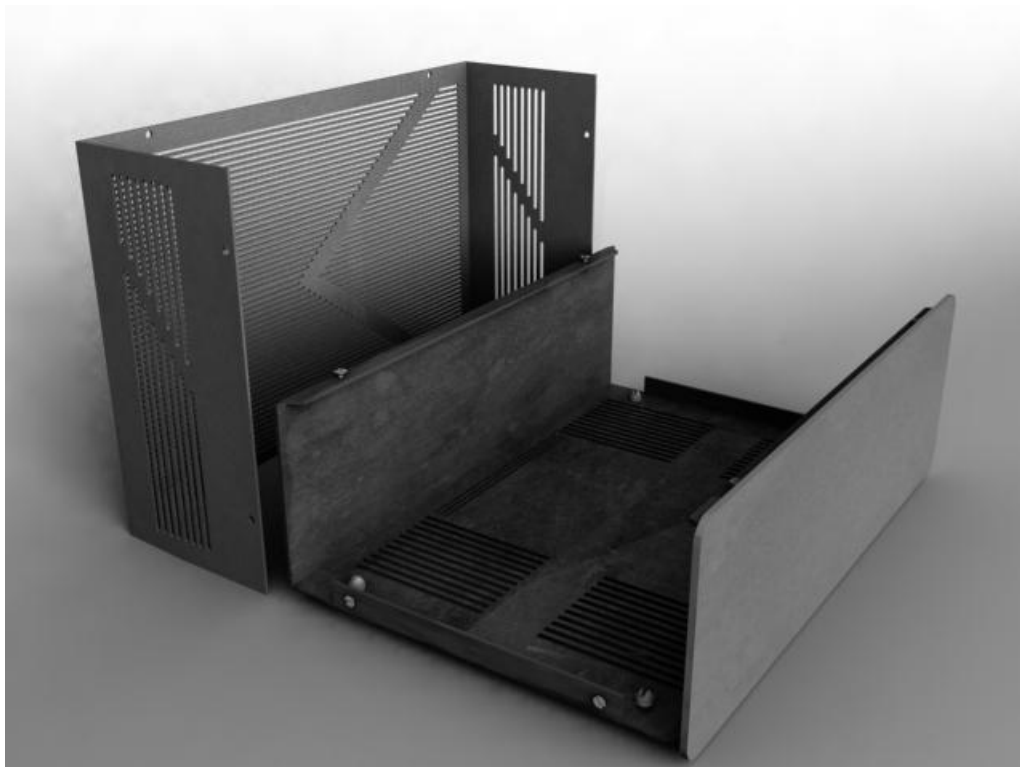


Рисунок 2.3

Необычное расположение элементов перфорации также призвано улучшить внешний вид конструкции. Эти детали корпуса расположены снаружи, поэтому их внешний вид должен удовлетворять эстетическим требованиям пользователя. Эта цель достигается путем придания верхней крышке и передней панели матовой текстуры и использованием декоративных винтов (блестящая поверхность которых отлично гармонирует с матовым алюминием).

Так как данный прибор является одним каналом УМЗЧ, то возможно использование нескольких таких устройств в многоканальной системе. Простая геометрическая форма позволяет легко разместить несколько приборов такого типа, не занимая большой площади. Это, безусловно, положительная сторона данной конструкции. Эскиз размещения нескольких каналов УМЗЧ представлен на рисунке 2.4.

Безопасность работы с устройством обеспечивается отсутствием необходимости взаимодействовать с ним во время работы. Отсутствие острых углов и выступающих частей также позволяет осуществлять безопасную транспортировку прибора.



Рисунок 2.4

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 17 |

2.3 Внутренняя и внешняя компоновка УМЗЧ

Результат компоновки элементов на печатной плате представлен на рисунке 2.5.

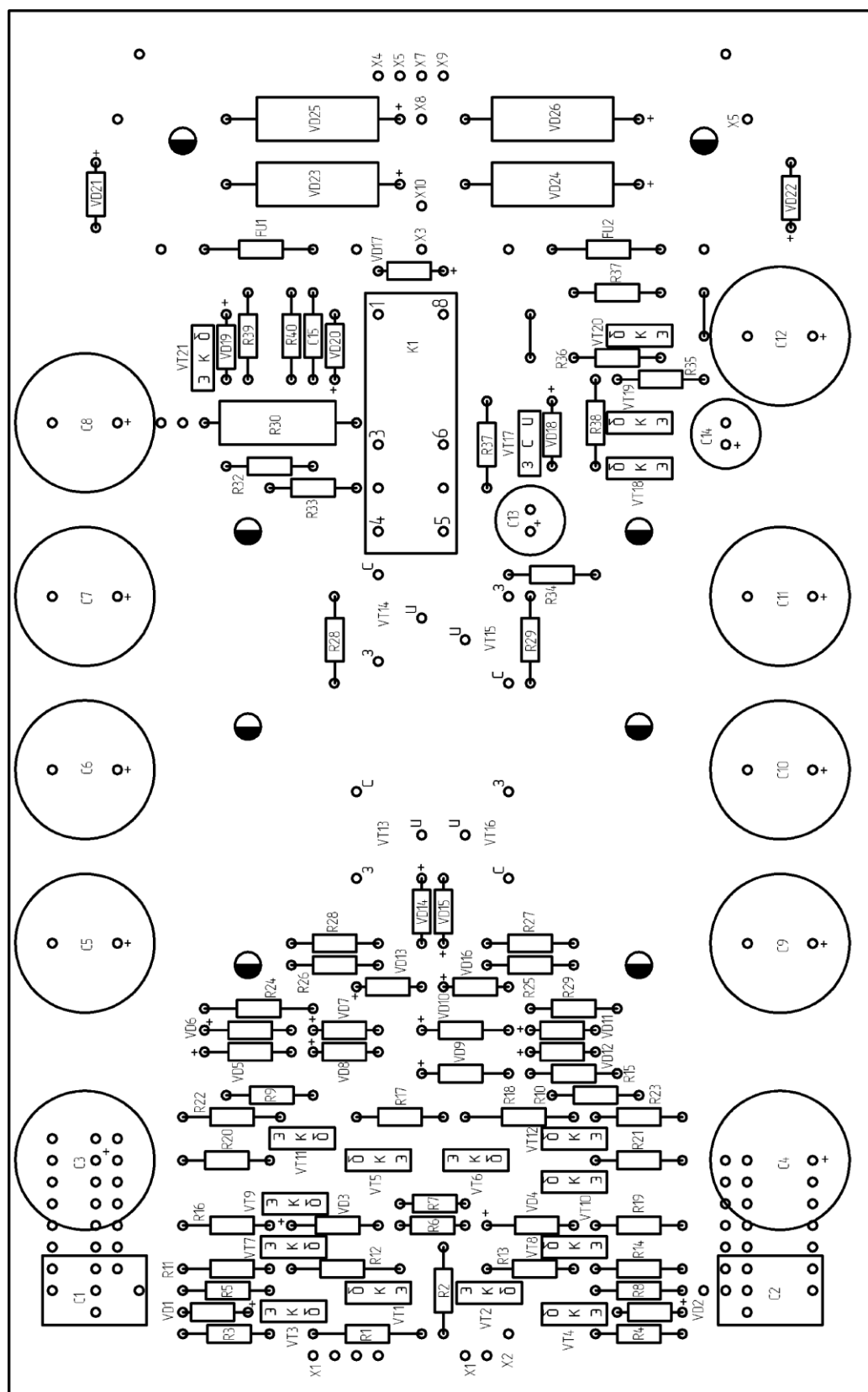


Рисунок 2.5

| | | | | |
|------|------|---------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум | Подп. | Дата |
| | | | | |

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

18

Обратная сторона печатной платы с компоновкой мощных транзисторов представлена на рисунке 2.6.

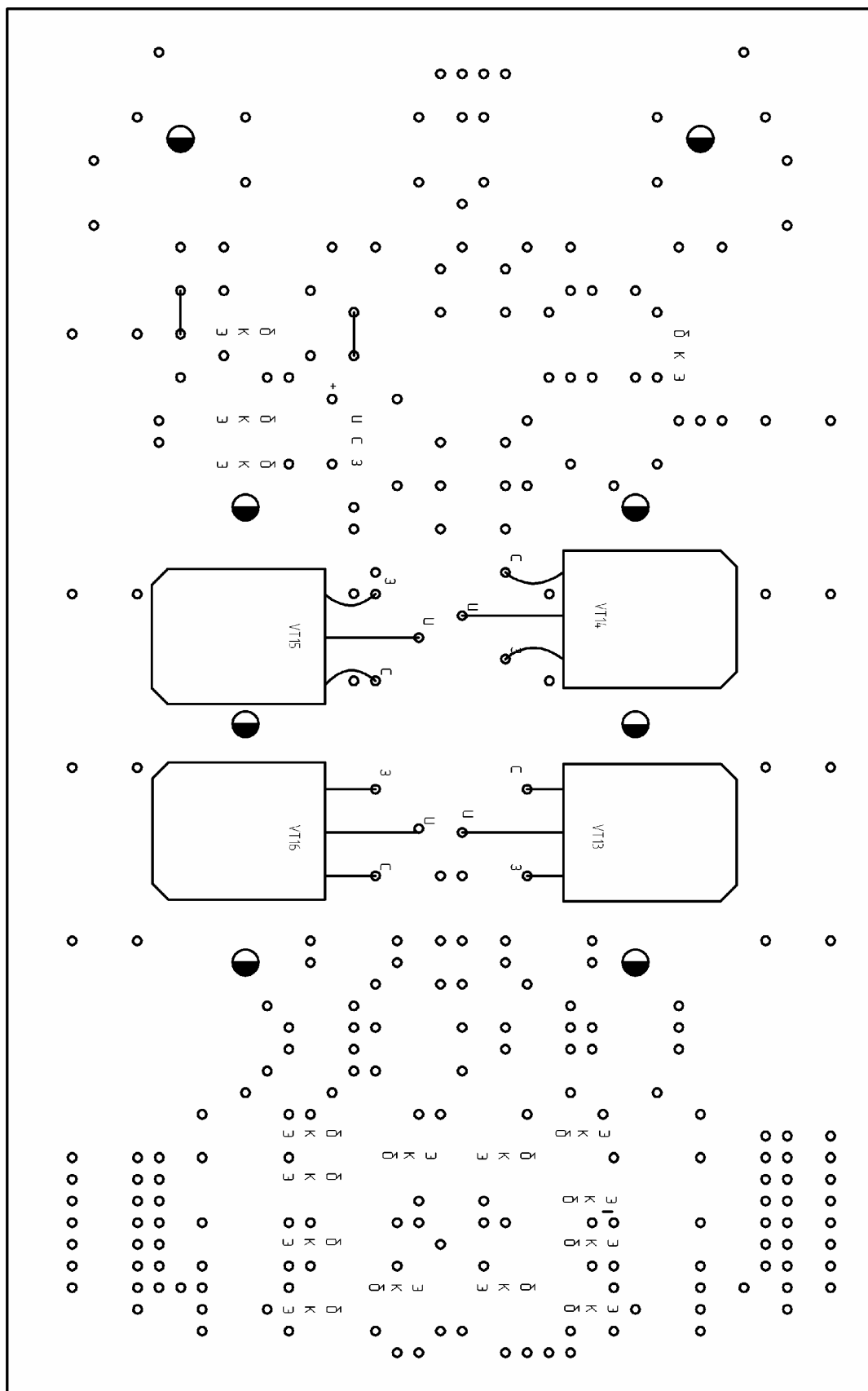


Рисунок 2.6

| | | | | |
|------|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | N докум | Подп. | Дата |

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

19

Результат трассировки печатных проводников представлен на рисунке 2.7.

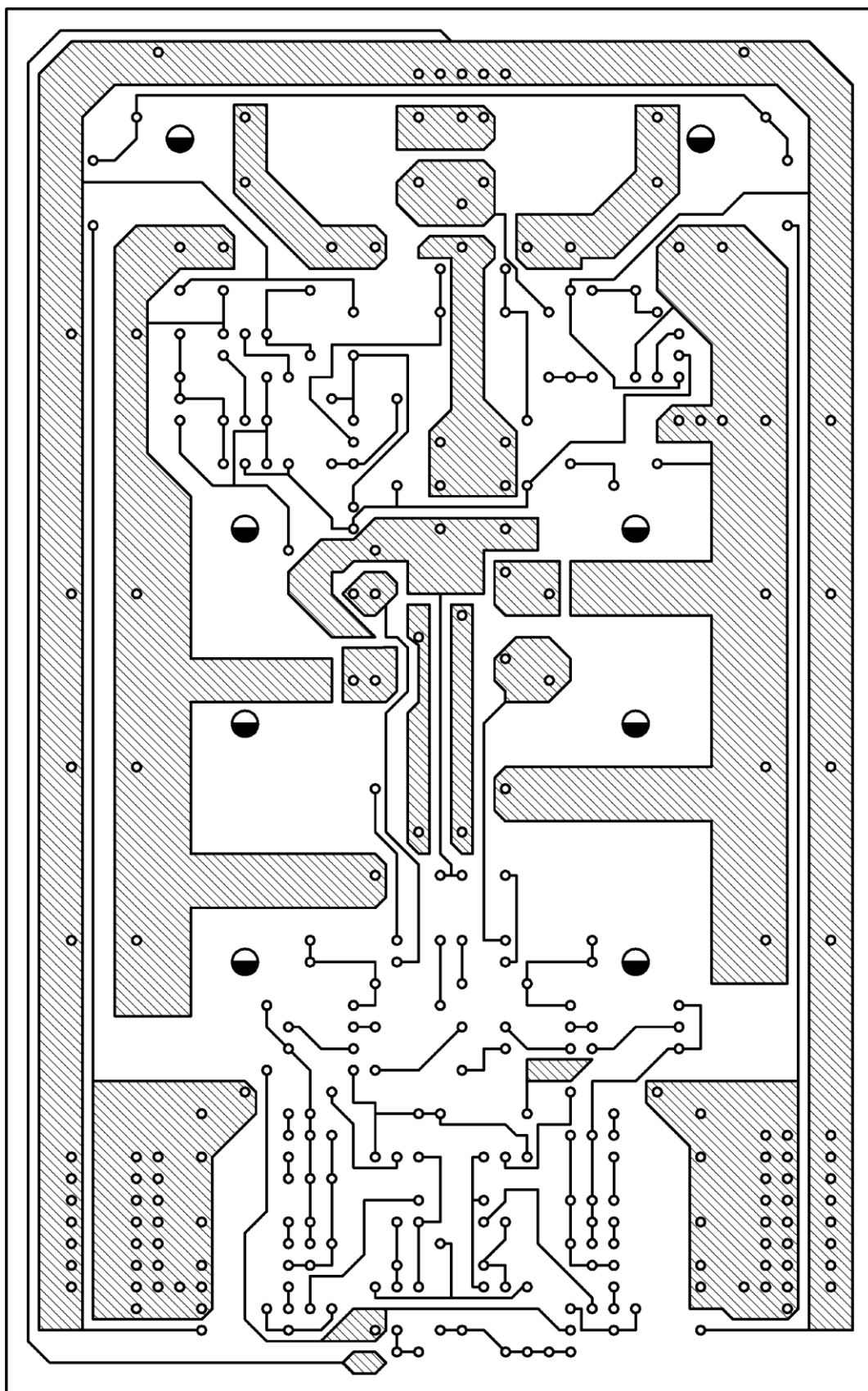


Рисунок 2.7

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата |

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

20

Эскиз внешней компоновки прибора показан на рисунке 2.8. Как уже упоминалось, корпус прибора представляет собой две П-образные детали (основание – поз. 1 и крышка – поз. 2), объединяемые в единую конструкцию с помощью винтов – поз. 10. Также к основанию с помощью винтов крепится передняя декоративная панель – поз. 9.

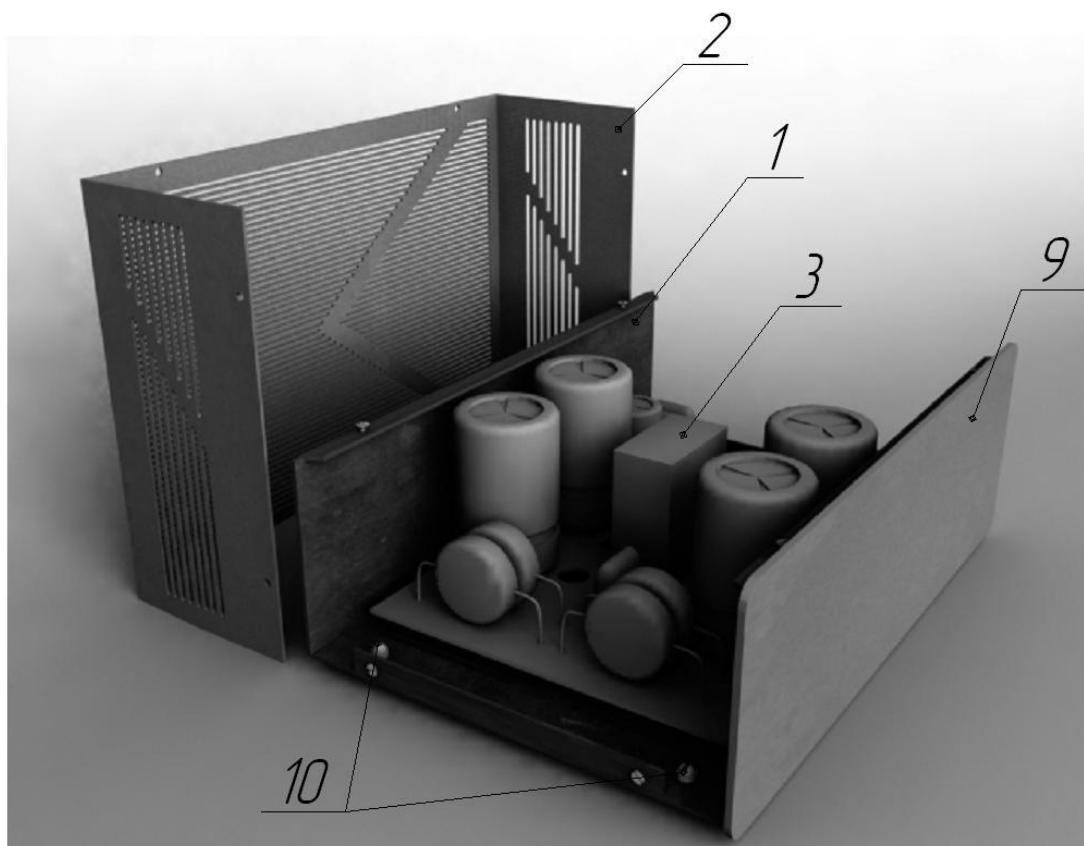


Рисунок 2.8

На основании прибора расположена печатная плата с установленными на нее элементами – поз. 3. На задней панели прибора расположены разъемы внешней коммутации: штыревые разъемы питания SDC-026-P (2 шт.) – поз. 4; стерео гнезда для подключения акустической системы и источника сигнала ACJS-MS-Jack 6,3 (2 шт.) – поз. 5; зажим малогабаритный общего провода для соединения в многоканальной системе – поз. 6; опоры из резины для установки прибора в рабочем положении – поз. 10 (4 шт.); держатели для плавких предохранителей FH-302 (2 шт.) – поз. 11; предохранители плавкие H6301030 (2 шт.) – поз. 12. Эскиз с изображением задней панели прибора представлен на рисунке 2.9. Также на рисунке показаны шнур питания – поз. 7, шнуры акустической системы и источника сигнала – поз. 8.

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата |

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

21

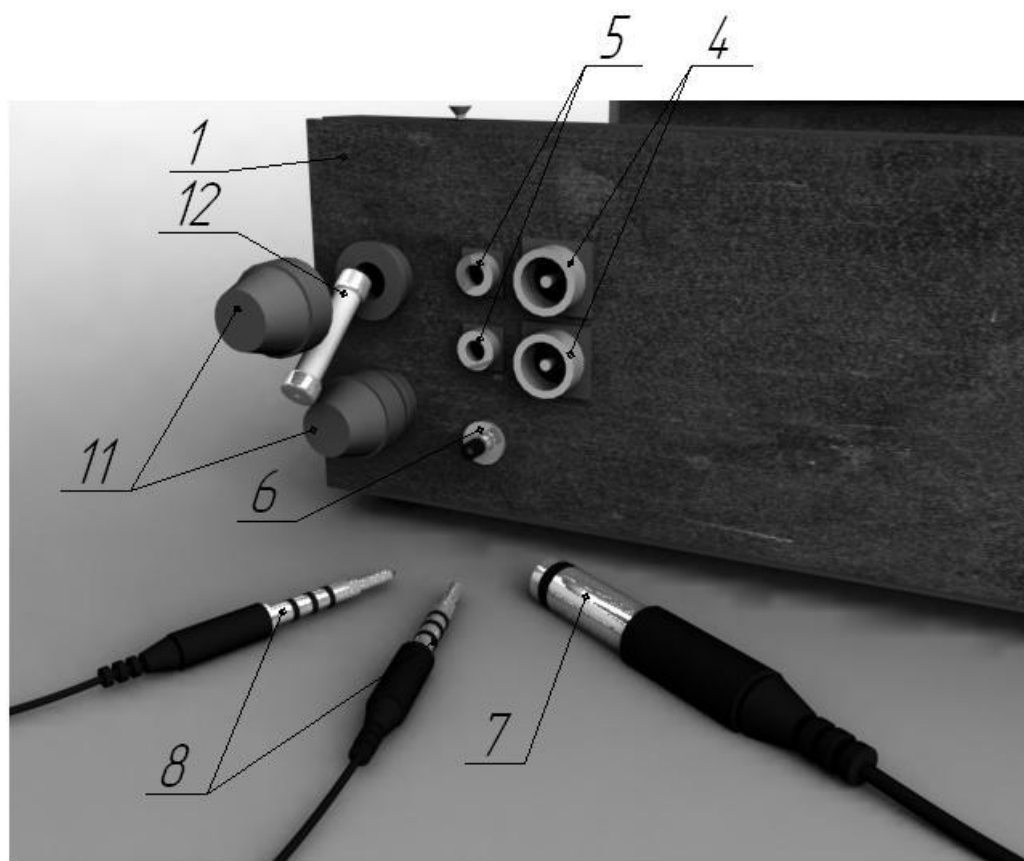


Рисунок 2.9

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата |

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

22

2.4 Описание конструкции

П-образное основание и крышка изготавливаются методом штамповки из листового алюминия АЛ9 ГОСТ 2685-63. Толщина листа – 1,5 мм.

Основание и крышка соединены между собой декоративными винтами. Винты на внешней стороне корпуса – винт стандарта DIN 963 с потайной головкой, форма А, изготовлен из нержавеющей стали. Винты для крепления платы на основание – винт М3-9дх6.36.016 ГОСТ 14437-80, изготовлен из стали. На основании с лицевой стороны расположена декоративная панель из листового алюминия толщиной 2,5 мм. Она закрепляется с помощью винтов на несущее основание. На нижней стороне основания закреплены четыре опоры из резины для установки усилителя в рабочем положении. Этот материал обеспечивает хорошее сцепление с поверхностью и не повреждает ее. С внутренней стороны на основании расположены резьбовые стойки для закрепления печатного узла.

На задней панели основания с помощью элементов крепления устанавливаются разъемы внешних подключений.

Печатная плата с установленными элементами закрепляется в корпусе на стойки из латуни РСНСН-6 (8 шт.) с помощью винтов. Для фиксации стоек в основании выполняются отверстия с резьбой.

На рисунке 2.10 показано пояснение по установке стоек внутри корпуса. Винт – поз. 1 прижимает печатную плату – поз. 2 и ввинчивается в отверстие стойки – поз. 3. Стойка закрепляется в отверстии с резьбой на основании корпуса. Также на рисунке показан способ закрепления верхней крышки – поз. 4 на основании 5.

В схеме усилителя присутствует четыре транзистора (VT13-VT16), работа которых характеризуется выделением большого количества теплоты. Отвод тепла от этих элементов схемы осуществляется прижатием транзисторов к основанию непосредственно печатной платой. Контактные поверхности транзисторов и основания покрываются теплопроводящей пастой 131-179 ТУ 6-02-1-342-83. Данное решение позволяет более рационально использовать внутренний объем прибора, так как исчезает потребность в использовании радиаторов. Высокая теплопроводность материала корпуса, его габариты позволяют обеспечить стабильное и эффективное охлаждение.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 23 |

Элементы внешнего подключения соединяются с печатным узлом с помощью объемных проводников. Держатели предохранителей, разъем общего провода и разъемы питания – провода МГШВ 1,5. Разъемы АС и источника сигнала соединяются с платой проводами МГТФ 0,12.

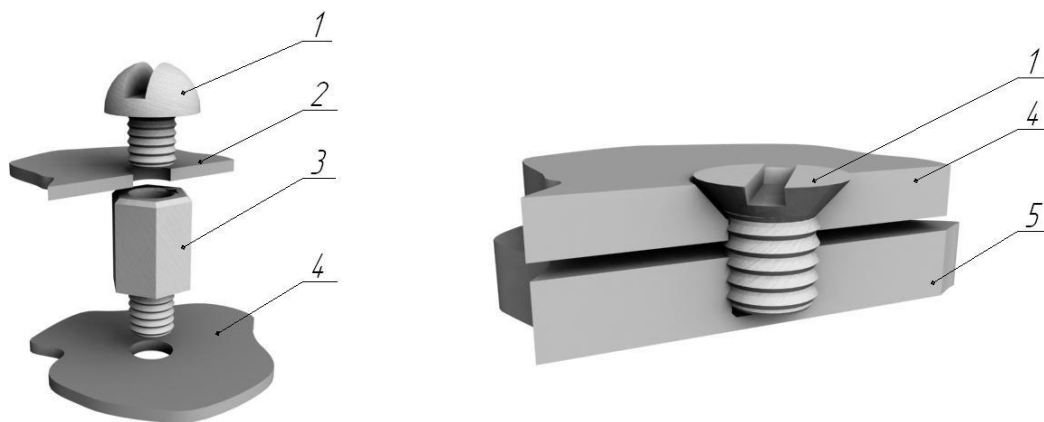


Рисунок 2.10

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата |

3 Технологическая часть

3.1 Анализ типовых технологических процессов (ТТП) сборки и монтажа печатных узлов

Проводя анализ типовых технологических процессов сборки и монтажа печатных узлов необходимо пояснить ряд понятий и определений, необходимых для наиболее верного описания.

Сборка представляет собой совокупность технологических операций механического соединения деталей и ЭРЭ в изделии или его части, выполняемых в определенной последовательности для обеспечения заданного их расположения и взаимодействия. Выбор последовательности операций сборочного процесса зависит от конструкции изделия и организации процесса сборки. Сборочные соединения бывают подвижными, если сопряженные детали могут перемещаться в определенных направлениях относительно друг друга, или неподвижными, если их взаимное расположение сохраняется неизменным. В свою очередь они разделяются на разъемные и неразъемные.

Монтажом называется ТП электрического соединения ЭРЭ изделия в соответствии с принципиальной или электромонтажной схемой. Монтаж проводится с помощью печатных, проводных или тканых плат, одиночных проводников, жгутов и кабелей. Основу монтажно-сборочных работ составляют процессы формирования электрических и механических соединений.

В соответствии с последовательностью технологических операций процесс сборки или монтажа делится на сборку (монтаж) отдельных сборочных единиц (плат, блоков, панелей, рам, стоек) и общую сборку (монтаж) изделия. Организационно он может быть стационарным или подвижным с концентрацией или дифференциацией операций.

Стационарной называется сборка, при которой собираемый объект неподвижен, а к нему в определенные промежутки времени подаются необходимые сборочные элементы. Подвижная сборка характеризуется тем, что сборочная единица перемещается по конвейеру вдоль рабочих мест, за каждым из которых закреплена определенная часть работы. Перемещение объекта сборки может быть свободным по мере выполнения закрепленной операции или принудительным в соответствии с ритмом процесса.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 25 |

Сборка по принципу концентрации операций заключается в том, что на одном рабочем месте производится весь комплекс работ по изготовлению изделия или его части. При этом повышается точность сборки, упрощается процесс нормирования. Однако большая длительность цикла сборки, трудоемкость механизации сложных сборочно-монтажных операций определяют применение такой формы в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Дифференцированная сборка предполагает расчленение сборочно-монтажных работ на ряд последовательных простых операций. Это позволяет легче механизировать и автоматизировать работы, использовать рабочих низкой квалификации. Сборка по принципу дифференциации операций эффективна в условиях серийного массового производства. Однако чрезмерное дробление операций приводит к возрастанию потерь вспомогательного времени на транспортировку, увеличению производственных площадей, повышению утомляемости рабочих при выполнении несложных однообразных действий. Поэтому в каждом конкретном случае должна быть определена технико-экономическая целесообразность степени дифференциации сборочных и монтажных работ.

К монтажно-сборочным процессам предъявляются требования высокой производительности, точности и надежности. На повышение производительности труда существенное влияние оказывают не только степень детализации процесса и специализации рабочих мест, но и такие организационные принципы, как параллельность, прямолинейность, непрерывность, пропорциональность и ритмичность.

Параллельность сборки – это одновременное выполнение частей или всего технологического процесса, что приводит к сокращению производственного цикла. Использование этого принципа обусловлено конструкцией РЭА, степенью ее расчленения на сборочные единицы. Наибольшими возможностями с технологической точки зрения обладают два вида обеспечения параллельности процессов:

- изготовления и сборки на многопредметных поточных линиях одновременного нескольких изделий;
- совмещение на автоматизированных поточных линиях изготовления деталей с их сборкой.

При организации производственного процесса стремятся обеспечить кратчайший путь прохождения изделия по всем фазам и операциям от запуска исходных материалов и ЭРЭ до выхода готового изделия. Любые отклонения от прямоточности усложняют процесс сборки, удлиняют цикл изготовления радиоаппаратуры. Принцип прямоточности должен соблюдаться во всех подразделениях предприятия и сочетаться с принципом непрерывности.

Непрерывность ТП сборки предусматривает сокращение или полное устранение меж- и внутриоперационных перерывов. Достигается непрерывность рациональным выбором техпроцессов, соединением операций изготовления деталей с их сборкой, включением в поток операций влагозащиты, контроля и регулировки.

Под принципом пропорциональности в организации производственного процесса понимается пропорциональная производительность в единицу времени на каждом рабочем месте, линии, участке, цехе. Это приводит к полному использованию имеющегося оборудования, производственных площадей и равномерному выпуску изделий. Улучшает пропорциональность рациональное деление конструкции на сборочные единицы и унифицированность ее элементов.

Принцип ритмичности предполагает выпуск в равные промежутки времени одинаковых или возрастающих количеств продукции. Ритмичность при сборке повышается за счет использования типовых и групповых процессов, их унификация и предварительной синхронизации операций.

Анализируя типовые технологические процессы сборки и монтажа можно выделить комплекс взаимосвязанных работ, которые реализуются при их разработке:

- выбор возможного типового или группового ТП и его доработка в соответствии с ТЗ;
- составление маршрута единичного ТП общей сборки и установление технологических требований к конструкциям входящих в нее блоков и сборочных единиц;
- составление маршрутов единичных ТП сборки блоков (сборочных единиц) и установление технологических требований к входящим в них сборочным единицам и деталям;

- определение необходимого технологического оборудования, оснастки, средств механизации и автоматизации;
- моделирование и оптимизациях техпроцесса по производительности;
- разбивка ТП на элементы;
- расчет и назначение технологических режимов, техническое нормирование работ и определение квалификации рабочих; разработка ТП и выбор средств контроля, настройки и регулировки;
- оформление технологической документации на процесс в соответствии с ЕСТД и ее утверждение;

Данный перечень работ не может называться полным, так как в производственных условиях он дополняется множеством дополнительных работ. В рамках данного дипломного проекта рассмотрение дополнительных работ не требуется, поэтому следует ограничиться перечисленными мерами.

Типовым ТП называется схематичный процесс сборки и монтажа изделий одной классификационной группы, включающий основные элементы конкретного процесса: способ установки базовой детали и ориентации остальных, последовательность операций, типы технологического оснащения, режимы работы, приближенную трудоемкость для заданного выпуска изделий. По типовому процессу легко составляется конкретный процесс сборки изделия и при соответствующей его подготовке.

Предпосылкой типизации является классификация деталей, сборочных единиц и блоков по признакам конструктивной (размеры, общее число точек соединения, схема базирования и др.) и технологической (маршрут сборки, содержание переходов, оснащение) общности. При типизации приняты четыре классификационные ступени: класс, вид, подвид, тип.

Классом называется классификационная группа сборочных единиц, имеющих общий вид сборочного соединения, например: свинчивание, пайка, сварка, склеивание и др.

Вид - это совокупность сборочных единиц, характеризующаяся степенью механизации сборочного процесса: сборка ручная, с применением механизированного инструмента, автоматизированная.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 28 |

Виды разделяют на подвиды, отличающиеся друг от друга конструктивными элементами, например клеевое соединение в нахлестку, с накладками, стыковое, угловое и др. Типы объединяют сборочные единицы, которые имеют одинаковые условия сборки, расположение и число точек крепления.

По комплексности методы типизации ТП разбивают на три группы: простые (одной операции), условно простые (одного ТП) и комплексные. К первой группе относят методы непосредственной типизации без предварительной унификации собираемых элементов, основанные на общности технологического оснащения. Вторая группа объединяет методы типизации, связанные со способами соединения ЭРЭ и деталей, с использованием общих технологических решений для различных классов собираемых элементов, построения различных технологических маршрутов из набора нормализованных операций. К третьей группе относят методы, использующие нормализацию элементов производственного процесса с дополнительной нормализацией ЭРЭ и деталей.

Разработка ТП сборки и монтажа нового изделия при типизации состоит в поиске того классификационного типа, к которому это изделие можно отнести, и выборе необходимого числа типовых операций из имеющегося состава. При этом может возникнуть необходимость в разработке оригинальных операций, отсутствующих в типовом ТП, которые пополнят банк имеющихся технологических решений.

В результате анализа имеющихся типовых ТП сборки и монтажа печатного узла удалось установить перечень типовых операций. Они приведены в таблице 3.1.

Этап комплектации навесных элементов и деталей, входящих в состав модулей первого уровня, трудоемок и выполняется в основном вручную. Это связано с многообразием тары, в которой поставляются ЭРЭ.

Этап подготовки к монтажу включает техпроцесс подготовки печатных плат, ЭРЭ и конструкционных деталей. Операции подготовки ЭРЭ в мелкосерийном производстве выполняются вручную на рабочем месте монтажника простейшими приспособлениями, с размещением элементов в технологической таре по номиналам.

В крупносерийном производстве применяются автоматы рихтовки и обрезки выводов, флюсования и лужения, промывки и сушки подготовленных навесных элементов.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 29 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | |

Таблица 3.1 – основные операции ТП сборки и монтажа

| Основные этапы сборки | Объекты сборки | Основные типовые операции |
|---|---------------------------------------|---|
| Комплектация | Печатные платы, комплектующие, детали | Распаковка из тары поставщика. Входной контроль параметров. Размещение в технологической таре |
| Подготовка к монтажу | Печатные платы | Промывка платы. Контроль печатного монтажа. Контроль паяемости платы. Маркировка платы |
| | Навесные элементы (ЭРЭ, ИМС) | Лакирование обозначений номиналов. Рихтовка и обрезка выводов. Флюсование и лужение выводов. Формовка выводов. Промывка и сушка ЭРЭ и ИМС. Комплектация. Кассетирование |
| Установка на печатную плату | Детали | Установка и закрепление соединителей (разъемов), контактов (штырей, лепестков), навесных шин, прокладок. Стопорение механических соединений |
| | Навесные элементы | Установка и фиксация резисторов, диодов, конденсаторов, транзисторов. Установка и фиксация микросхем. Контроль установки элементов |
| Выполнение контактных соединений | Плата с деталями, ЭРЭ, ИМС | Флюсование и пайка соединений. Промывка и сушка модуля. Контроль контактных соединений |
| Контроль модуля и защита от внешних воздействий | Модуль | Контроль и регулировка функциональных параметров. Монтажные операции (дополнительные). Контроль параметров, защита модуля (лакирование), испытания и контроль. Сдача на соответствие ТУ |

Автоматизированная подготовка требует специальных кассет для загрузки и выгрузки элементов. Для ЭРЭ с осевыми выводами, которые кассетируют путем наклеивания в ленту, формовка производится на автомате непосредственно перед установкой на плату.

Установку на плату начинают со штырей, лепестков, навесных шин и прокладок после подготовки (рихтовка, обезжиривание) их базовых поверхностей. Установка ЭРЭ в зависимости от типа производства осуществляется вручную, по шаблону, автоматически.

При установке вручную монтажник по схеме или маркировке на плате определяет место положения элемента, извлекает его из тары, устанавливает и, если необходимо, распаивает выводы. Первые два перехода составляют большую часть штучного времени. Для сокращения времени установки всех навесных элементов монтажное поле платы делится на зоны, в каждой из которых работает один монтажник. В этом случае может

быть организована конвейерная установка элементов.

Установка по шаблону характеризуется более высоким уровнем механизации. Точное позиционирование монтажного стола осуществляется вручную с помощью щупа и координатных отверстий на шаблоне, а установка элементов - автоматически укладочной головкой. Элементы подаются из кассет в последовательности установки на плату. Этот способ более производительный, но менее универсальный, так как требует сменных или перенастраиваемых инструментов при изменении типоразмеров корпусов элементов.

Для автоматизированной установки применяется специализированное оборудование с ЧПУ или технологические комплексы с подачей элементов из технологических кассет.

Получение контактных соединений в модулях первого уровня осуществляется преимущественно пайкой, расплавленным или расплавляемым припоем под действием постоянного или импульсного нагрева зоны соединения. При одностороннем монтаже навесных элементов на плате и фиксации их положения (подгибка, приклеивание и т.п.) применяется механизированная пайка волной припоя. Операции промывки и сушки модулей необходимы для удаления флюса, продуктов пайки и прочих загрязнений. Они выполняются на механизированных конвейерных линиях. Качество контактных соединений оценивается визуально.

Этап контроля модулей наиболее ответственный и трудоемкий. Он выполняется в отладочном, диагностическом и контрольном режимах с помощью специальной аппаратуры, стендов и автоматических систем контроля.

Замена неисправных ЭРЭ требует дополнительных монтажных операций и повторного контроля параметров. Годные модули проходят операции лакирования и сушки и, если необходимо, испытания с контролем параметров.

По результатам проведенного анализа появляется возможность составить технологическую схему сборки и монтажа печатного узла УМЗЧ.

3.2 Составление технологической схемы сборки и монтажа печатного узла УМЗЧ

Разработка технологического маршрута сборки и монтажа начинается с расчленения изделия или его части на сборочные элементы путем построения схем сборочного состава технологических схем сборки. Элементами сборочно-монтажного

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист 31 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

производства являются детали и сборочные единицы различной степени сложности. Построение таких схем позволяет установить последовательность сборки, взаимную связь между элементами и наглядно представить проект ТП. Сначала в компактном виде составляется схема сборочного состава всего изделия, а затем ее дополняют развернутыми схемами отдельных сборочных единиц. Расчленение изделия на элементы проводится независимо от программы выпуска и характера ТП сборки. Схема сборочного состава служит основой для разработки технологической схемы сборки, в которой формируется структура операций сборки, устанавливается их оптимальная последовательность, вносятся указания по особенностям выполнения операций.

На практике широко применяется два типа схем сборки: «веерный» и с базовой деталью. Пример веерной схемы сборки представлен на рисунке 3.1.

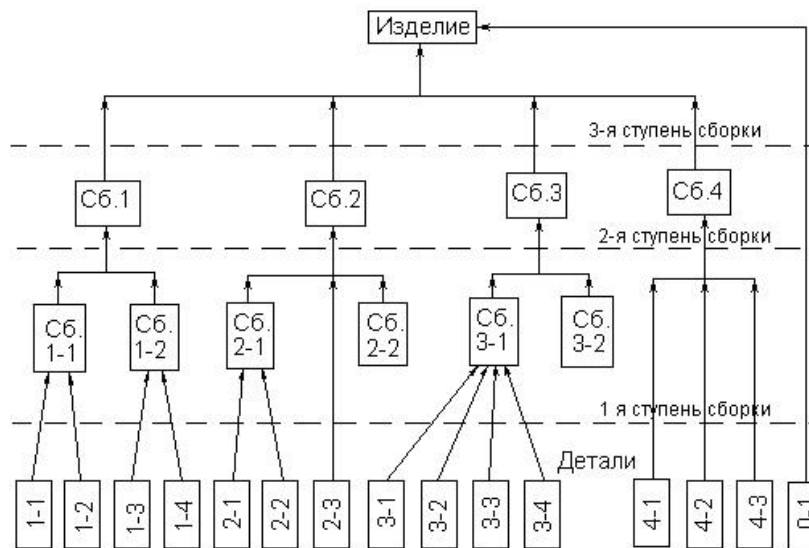


Рисунок 3.1

Более трудоемкой, но наглядной и отражающей временную последовательность процесса сборки является схема сборки с базовой деталью. За базовую принимается шасси, панель, плата или другая деталь, с которой начинается сборка.

Технологическая схема сборки, определяет последовательность установки деталей и сборочных единиц на базовую деталь (или сборочную единицу). На схеме должны быть указаны операции получения механических соединений (свинчивание, расклепка, развальцовка, склеивание, сварка); операции электрического монтажа (пайка, сварка, накрутка, раскладка проводов); операции контроля и герметизации (промывка, сушка, лакирование, нанесение компаунда).

При разработке схемы сборки необходимо выбрать базовую деталь. Для модулей первого уровня это - ПП. Для модулей второго уровня базовой деталью может быть конструкционная рамка или каркас блока, представляющий сборочную единицу.

От базовой детали к готовой сборочной единице проводится главная линия сборки, а от устанавливаемых деталей или сборочных единиц — линии до пересечения с ней. Расположение точек пересечения на главной линии говорит о выбранной последовательности сборки.

Операции сборки и монтажа указываются текстом в прямоугольных рамках в том месте, где они осуществляются. Для упорядочения схемы сборки по одну сторону от главной линии изображаются устанавливаемые детали и сборочные единицы, по другую — крепежные детали и монтажные операции. Если текст занимает много места, то операции могут быть пронумерованы, а расшифровка их сделана вне схемы сборки.

Правильно выбранная схема сборочного состава позволяет установить рациональный порядок комплектования сборочных единиц и изделия в процессе сборки. При переходе от схемы сборочного состава к технологической схеме сборки и расположении операций во времени необходимо учитывать следующее:

- сначала выполняются те операции ТП, которые требуют больших механических усилий и неразъемных соединений;
- активные ЭРЭ устанавливают после пассивных;
- при наличии малогабаритных и крупногабаритных ЭРЭ в первую очередь собираются малогабаритные ЭРЭ;
- заканчивается сборочный процесс установкой деталей подвижных соединений и ЭРЭ, которые используются в дальнейшем для регулировки;
- контрольные операции вводят в ТП после наиболее сложных сборочных операций и при наличии законченного сборочного элемента;
- в маршрутный технологический процесс вводят также те операции, которые непосредственно не вытекают из схемы сборочного состава, но их необходимость определяется техническими требованиями к сборочным единицам, например влагозащита, и т.д.

Учитывая перечисленные рекомендации можно составить технологическую схему

| | | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|--|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | | 33 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | | |

сборки. Технологическая схема сборки с базовой деталью представлена на рисунке 3.2.

Опираясь на разработанную схему сборки можно составить перечень операций, которые составят технологический процесс. Операции перечислены в том же порядке, что и на схеме сборки.

Основные операции технологического процесса:

- подготовительная операция – распаковка радиоэлементов, визуальный осмотр, размещение в технологической таре;
- защита маркировочных знаков радиоэлементов;
- лужение выводов радиоэлементов;
- формовка и обрезка выводов радиоэлементов;
- проверка печатной платы на паяемость;
- расконсервация печатной платы;
- установка (сборка) радиоэлементов на печатной плате;
- выполнение контактных соединений (монтаж);
- удаление остатков флюса в ванночке с растворителем;
- контроль;
- лакирование;
- проверка на работоспособность;
- контроль.

Разработанная карта технологического процесса выполнена на стандартных бланках и находится в приложении к дипломному проекту.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|--------------------------|--|------|
| | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | 34 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

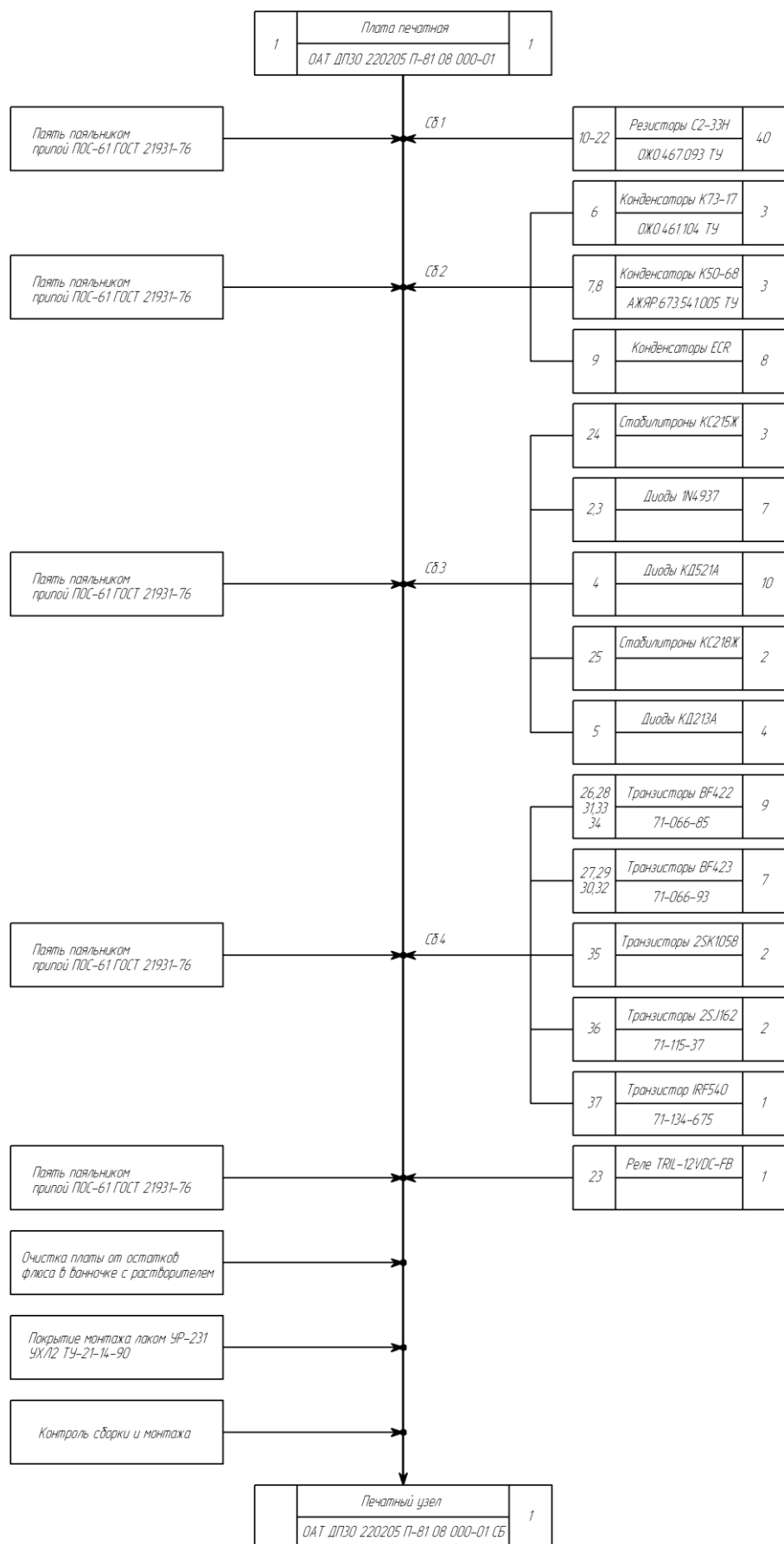


Рисунок 3.2

4 Расчетная часть

4.1 Электрический расчет компенсационного стабилизатора напряжения с непрерывным регулированием

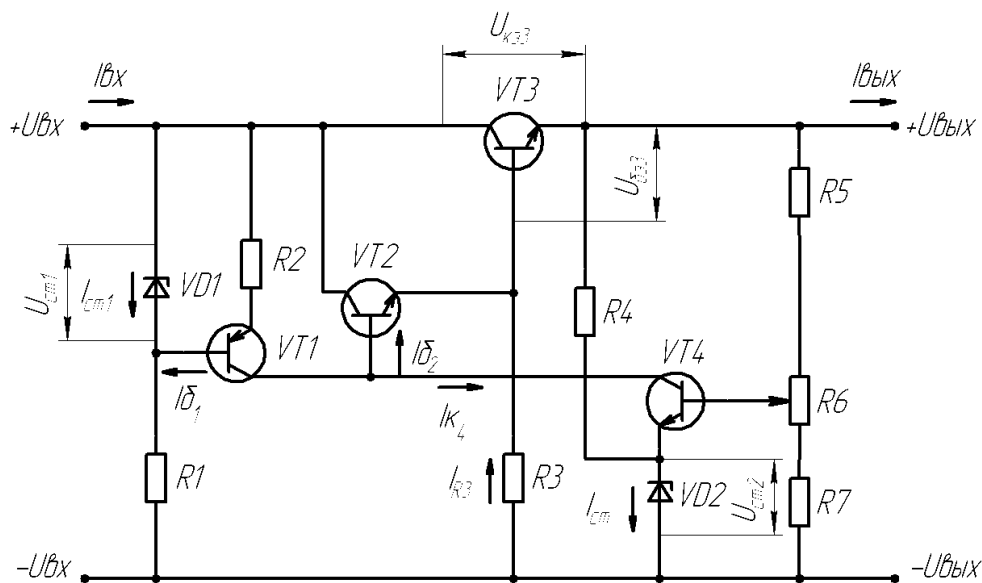


Рисунок 4.1

Исходные данные для расчета:

$U_{\text{вых}}$ – номинальное значение выходного напряжения, $U_{\text{вых}} = 20 \text{ В}$;

$I_{\text{н}}$ – ток нагрузки, $I_{\text{н}} = 1 \text{ А}$;

$\delta U_{\text{вых}}$ – нестабильность выходного напряжения при изменении питающего напряжения и температуры окружающей среды, $\delta U_{\text{вых}} < \pm 3 \%$;

$\delta U_{\text{вх}}$ – изменение напряжения в процессе работы, $\delta U_{\text{вх}} = 10 \%$;

Диапазон рабочих температур окружающей среды – от плюс 20° до плюс 60°C ;

Регулировка выходного напряжения от $U_{\text{вых.min}}$ до $U_{\text{вых.max}}$, $U_{\text{вых.min}} = 16 \text{ В}$, $U_{\text{вых.max}} = U_{\text{вых}} = 20 \text{ В}$.

Расчет проводим по методике изложенной в [2].

Поскольку требуемая стабильность выходного напряжения относительно невелика, а температура окружающей среды изменяется в сравнительно небольших пределах, то выбираем схему компенсационного стабилизатора напряжения с непрерывным регулированием. Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 4.1.

4.1.1 Задаемся минимальным значением коллекторного напряжения регулирующего транзистора $U_{\text{кэ.min}}$ при условии, что составной транзистор образован из

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата |

двух биполярных и что средние значения напряжений эмиттер—база и коллектор—эмиттер мощных кремниевых транзисторов равны: $U_{ЭБ} = 2,5—4 \text{ В}$; $U_{КЭ} = 1,5—2,5 \text{ В}$.

4.1.2 Определяем минимальное напряжение коллектор—эмиттер составного транзистора $U_{КЭ.min}$, В, по формуле:

$$U_{КЭ.min} = U_{ЭБ1.max} + U_{КЭ3.max}, \quad (1)$$

$$U_{КЭ.min} = 4 + 2,5 = 6,5.$$

4.1.3 Определяем минимальное напряжение питания на входе стабилизатора $U_{Вх.min}$ по формуле:

$$U_{Вх.min} = U_{Вых.max} + U_{КЭ.min} \quad (2)$$

$$U_{Вх.min} = 20 + 6,5 = 26,5 \text{ В}.$$

4.1.4 Определяем номинальное, $U_{Вх}$, и максимальное $U_{Вх.max}$ значения входного напряжения, В, по формулам:

$$U_{вх} = \frac{U_{вх.min}}{(1 - \frac{\delta U_{вх}}{100})}, \quad (3)$$

$$U_{вх} = \frac{26,5}{(1 - \frac{10}{100})} = 29,4,$$

$$U_{вых.max} = U_{вх} (1 + \frac{\delta U_{вх}}{100}), \quad (4)$$

$$U_{вых.max} = 29,4(1 + \frac{10}{100}) = 32,3.$$

4.1.5 Определяем предельные рабочие режимы регулирующего транзистора.

Предельный ток коллектора $I_{Кпред}$, А, приблизительно равен выходному току стабилизатора:

$$I_{Кпред} \approx I_{Вых} = 1.$$

Предельное напряжение коллектор—эмиттер $U_{КЭ.пред}$, В, определяем по формуле:

$$U_{КЭ.пред} = U_{вых.max} - U_{вых.min}, \quad (5)$$

$$U_{КЭ.пред} = 32,3 - 16 = 16,3.$$

Предельная мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_{К1.пред}$, Вт, определяется по формуле:

$$P_{К1.пред} = U_{КЭ.пред} * I_{К1.пред}, \quad (6)$$

$$P_{K\text{пред}} = 16,3 * 1 = 16,3.$$

4.1.6 По полученным данным и справочным данным [12] выбираем в качестве регулирующего транзистора VT3 мощный кремниевый транзистор П702 n-p-n типа с параметрами:

$I_{K\text{max}}$ – максимальный ток коллектора, $I_{K\text{max}} = 2 \text{ A}$;

$U_{KЭ\text{max}}$ – максимальное напряжение коллектор—эмиттер, $U_{KЭ\text{max}} = 60 \text{ В}$;

$I_{B\text{max}}$ – максимальный ток базы, $I_{B\text{max}} = 0,5 \text{ A}$;

$P_{K\text{max}}$ – максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{K\text{max}} = 40 \text{ Вт}$ (до плюс 50°C);

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока эмиттеру, $h_{21Э} \geq 25$ (при плюс 20°C);

$U_{K\text{нас}}$ – напряжение насыщения коллектор—эмиттер, $U_{K\text{нас}} = 2,5 \text{ В}$;

$I_{КБ0}$ – начальный ток коллекторного перехода, $I_{КБ0} = 5 \text{ мА}$;

R_T – тепловое сопротивление переход—корпус, $R_T = 2,5^\circ\text{C/Вт}$.

4.1.7 Задаемся допустимым перегревом корпуса транзистора, учитывая, что максимальная температура корпуса $T_{\text{кор. max}} = 120^\circ\text{C}$, $\Delta T_{\text{кор}} = 20^\circ\text{C}$ (при температуре окружающей среды – плюс 60°C), $T_{\text{кор}} = 80^\circ\text{C}$.

Определяем максимально допустимую рассеиваемую мощность P_{K3} , Вт, на регулирующем транзисторе VT3 по формуле:

$$P_{K3} = \frac{150 - T_{\text{кор}}}{R_T}, \quad (7)$$

$$P_{K3} = \frac{150 - 80}{2,5} = 28.$$

Поскольку $P_{K3} > P_{K1\text{пред}}$, то выбранный тип транзистора может быть использован как регулирующий транзистор.

4.1.8 Задаем ток через резистор R3 из условия $I_B \geq I_{КБ0} = 5 * 10^{-3} \text{ A}$.

Определяем ток коллектора I_{K2} , А, транзистора VT2 по формуле:

$$I_{K2} \approx I_{Э2} = I_B + \frac{I_{K3}}{h_{21Э3\text{ min}}}, \quad (8)$$

$I_{Э2}$ – ток эмиттера транзистора VT2.

$$I_{K2} = 5 * 10^{-3} + \frac{1}{25} = 0,045.$$

4.1.9 Определяем предельное значение коллекторного напряжения $U_{KЭ2}$, В, транзистора VT2

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата |

по формуле:

$$U_{КЭ2.пред} = U_{КЭ.пред} - U_{ЭБ3.min}, \quad (9)$$

где $U_{ЭБ3.min}$ – минимальное значение напряжения база—эмиттер транзистора VT3, В.

$$U_{КЭ2.пред} = 16,3 - 2,5 = 13,8.$$

4.1.10 Определяем предельное значение рассеиваемой мощности $P_{К2.пред}$ транзистора VT2, Вт, по формуле:

$$P_{К2.пред} = U_{КЭ2.пред} * I_{К2.пред}, \quad (10)$$

где $I_{К2.пред}$ предельный ток коллектора транзистора VT2, $I_{К2.пред} = I_{К2}$.

$$P_{К2.пред} = 13,8 * 0,045 = 0,62 \text{ Вт.}$$

4.1.11 По полученным значениям и справочным данным в качестве транзистора VT2 выбираем кремниевый транзистор КТ610Б n-p-n типа и выписываем из [12] его основные параметры:

$I_{К.мах}$ – максимальный ток коллектора, $I_{К.мах} = 0,3 \text{ А}$;

$U_{КЭмах}$ – максимальное напряжение коллектор—эмиттер, $U_{КЭмах} = 60 \text{ В}$;

$P_{Кмах}$ – максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{Кмах} = 1,5 \text{ Вт}$ (при $T_{кор} = 50^\circ\text{C}$);

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока эмиттеру, $h_{21Э} = 20\text{—}300$.

4.1.12 Определяем базовый ток $I_{Б2.пред}$ транзистора VT3, А, по формуле:

$$I_{Б3.пред} = \frac{I_{К2}}{h_{21Э.пред2min}}, \quad (11)$$

где $I_{К2}$ – ток коллектора транзистора VT2, А;

$h_{21Э.пред2min}$ – нижний предел значения передачи тока эмиттеру транзистора VT2.

$$I_{Б3.пред} = \frac{0,045}{20} = 2,2 * 10^{-3}.$$

4.1.13 Определяем сопротивление резистора R3, Ом, по формуле:

$$R_3 = \frac{U_{вых.min} - U_{ЭБ3.мах}}{I_{R3}}, \quad (12)$$

$$R_3 = \frac{16 - 4}{5 * 10^{-3}} = 2,4 * 10^3.$$

4.1.14 Определяем мощность, рассеиваемую на резисторе R3, Вт, по формуле:

$$P_{R3} = \frac{(U_{вых.мах} - U_{ЭБ1.min})^2}{R_3}, \quad (13)$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 39 |

$$P_{R3} = \frac{(20 - 2,5)^2}{2,4 * 10^3} = 0,13 .$$

Исходя из результатов расчета выбираем резистор С2-33Н, мощностью 0,25, сопротивлением 2,4 кОм.

4.1.15 В качестве источника опорного напряжения выбираем кремниевый стабилитрон типа Д818Д и выписываем из [11] его основные параметры:

$U_{ст}$ – напряжение стабилизации стабилитрона, $U_{ст} = 9 В$;

$I_{ст.min}$ – минимальный ток стабилизации стабилитрона, $I_{ст.min} = 3 мА$;

$I_{ст.max}$ – максимальный ток стабилизации стабилитрона, $I_{ст.max} = 33 мА$;

$r_{ст}$ – сопротивление стабилитрона при токе стабилизации 10 мА, $r_{ст} = 18 Ом$.

4.1.16 Определяем предельное рабочее напряжение на коллекторе транзистора VT4 $U_{КЭ4.пред}$, В, по формуле:

$$U_{КЭ4.пред} = U_{вых.max} - U_{ст1.min} + U_{ЭБ3.max} + U_{ЭБ2.max}, \quad (14)$$

$$U_{КЭ4.пред} = 20 - 8,55 + 4 + 4 \approx 19,4.$$

4.1.16 Задаем рабочий коллекторный ток транзистора VT4, А:

$$I_{К4} = 1,5 * 10^{-3}.$$

4.1.17 В качестве транзистора VT4 выбираем кремниевый транзистор типа КТ301В с n-p-n проводимостью. Его параметры выписываем из [11, 12]:

$I_{Кmax}$ – максимальный ток коллектора, $I_{Кmax} = 10 мА$;

$U_{КЭmax}$ – максимальное напряжение коллектор—эмиттер, $U_{КЭmax} = 30 В$;

$P_{Кmax}$ – максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{Кmax} = 150 мВт$;

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока эмиттеру, $h_{21Э} = 20—60$;

$U_{ЭБнас}$ – напряжение насыщения эмиттер—база, $U_{ЭБнас} = 2,5 В$.

4.1.18 Определяем коллекторный ток $I_{К1}$, А, транзистора VT1 по формуле:

$$I_{К1} = I_{Б2} + I_{К4}, \quad (15)$$

$$I_{К1} = 2,2 * 10^{-3} + 1,5 * 10^{-3} = 3,7 * 10^{-3}.$$

4.1.19 Определяем коллекторное напряжение $U_{КЭ1.пред}$, В, транзистора VT1 по формуле:

$$U_{КЭ1.пред} \approx U_{вых.max} - U_{КЭ4.пред} - U_{ст.min}, \quad (16)$$

$$U_{КЭ1.пред} = 32,3 - 19,4 - 8,55 = 14,3.$$

4.1.20 В качестве транзистора VT1 выбираем кремниевый транзистор типа КТ202В с проводимостью р-п-р типа. Параметры выписываем из [11, 12]:

$I_{K\max}$ – максимальный ток коллектора, $I_{K\max} = 10 \text{ мА}$;

$U_{KЭ\max}$ – максимальное напряжение коллектор—эмиттер, $U_{KЭ\max} = 30 \text{ В}$;

$P_{K\max}$ – максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_{K\max} = 150 \text{ мВт}$;

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока эмиттеру, $h_{21Э} = 15\text{—}70$;

$U_{ЭБ\text{нас}}$ – напряжение насыщения эмиттер—база, $U_{ЭБ\text{нас}} \leq 1 \text{ В}$.

4.1.21 Определим базовый ток транзистора VT4 $I_{Б4.\text{пред}}$, А, по формуле:

$$I_{Б4.\text{пред}} = \frac{I_{K4}}{h_{21Э4.\text{мин}}}, \quad (17)$$

где I_{K4} – ток коллектора транзистора VT4, А;

$h_{21Э4.\text{мин}}$ – нижний предел значений передачи тока эмиттера, транзистора VT4.

$$I_{Б4.\text{пред}} = \frac{1,5 * 10^{-3}}{20} = 0,075 * 10^{-3}.$$

4.1.22 Определим базовый ток транзистора VT1 $I_{Б1.\text{пред}}$, А, по формуле:

$$I_{Б1.\text{пред}} = \frac{I_{K1}}{h_{21Э1.\text{мин}}}, \quad (18)$$

где I_{K1} – ток коллектора транзистора VT1, А;

$h_{21Э1.\text{мин}}$ – нижний предел значений передачи тока эмиттера, транзистора VT1.

$$I_{Б1.\text{пред}} = \frac{3,7 * 10^{-3}}{15} = 0,25 * 10^{-3}.$$

4.1.23 Задаем минимальный рабочий ток стабилизации стабилитрона VD2, А:

$$I'_{ст.\text{min}} = 8 * 10^{-3} > I_{ст.\text{min}}$$

4.1.24 Определим сопротивление резистора R4, Ом, по формуле:

$$R_4 = \frac{U_{\text{вых. min}} - U_{ст2.\text{max}}}{I'_{ст.\text{min}}}, \quad (19)$$

где $U_{ст1.\text{max}}$ – максимальное напряжение стабилизации стабилитрона VD2, В.

$$R_4 = \frac{16 - 9,45}{8 * 10^{-3}} = 820.$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 41 |

4.1.25 Определим мощность рассеиваемую на резисторе R1 P_{R4} , Вт, по формуле:

$$P_{R4} = \frac{(U_{\text{вых. max}} - U_{\text{см. min}})^2}{R_4}, \quad (20)$$

$$P_{R4} = \frac{(20 - 8,55)^2}{820} = 0,16.$$

В качестве резистора R4 выбираем резистор типа C2-33H, мощностью 0,25 Вт, сопротивлением 820 Ом.

4.1.26 В качестве опорного напряжения токостабилизирующего двухполюсника выбираем стабилитрон VD1 типа KC113A. Его параметры выписываем из [11]:

$U_{\text{ст}}$ – напряжение стабилизации стабилитрона, $U_{\text{ст}} = 3,3$ В;

$I_{\text{ст. min}}$ – минимальный ток стабилизации стабилитрона, $I_{\text{ст. min}} = 3$ мА;

$I_{\text{ст. max}}$ – максимальный ток стабилизации стабилитрона, $I_{\text{ст. max}} = 81$ мА;

$r_{\text{ст}}$ – сопротивление стабилитрона при токе стабилизации 10 мА, $r_{\text{ст}} = 65$ Ом.

4.1.27 Задаем ток через стабилитрон VD1, А:

$$I''_{\text{ст. min}} = 10 * 10^{-3}$$

4.1.28 Определяем сопротивление резистора R1, Ом, по формуле:

$$R_1 = \frac{U_{\text{вых. min}} - U_{\text{см1. max}}}{I''_{\text{см. min}}}, \quad (21)$$

$$R_1 = \frac{26,5 - 3,36}{10 * 10^{-3}} = 2,2 * 10^3.$$

4.1.29 Определяем мощность, рассеиваемую на резисторе R1 P_{R1} , Вт, по формуле:

$$P_{R1} = \frac{(U_{\text{вых. max}} - U_{\text{см1. min}})^2}{R_1}, \quad (22)$$

$$P_{R1} = \frac{(32,3 - 3,0)^2}{2,2 * 10^3} = 0,39.$$

В качестве резистора R1 выбираем резистор типа C2-33H, мощностью 0,5 Вт, сопротивлением 2,2 кОм.

4.1.30 Определяем сопротивление резистора R2, Ом, по формуле:

$$R_2 = \frac{U_{\text{см1. min}} - U_{\text{ЭБ1. max}}}{I_{\text{Б1}} + I_{\text{К1}}}, \quad (23)$$

$$R_2 = \frac{3,0 - 1,0}{(0,25 + 3,7) * 10^{-3}} = 510.$$

4.1.31 Определяем мощность, рассеиваемую на резисторе R2 P_{R2}, Вт, по формуле:

$$P_{R2} = \frac{(U_{cm1.max} - U_{ЭБ1.min})^2}{R_2}, \quad (24)$$

$$P_{R2} = \frac{(3,36 - 0,8)^2}{510} = 0,016.$$

В качестве резистора R2 выбираем резистор типа С2-33Н, мощностью 0,25 Вт, сопротивлением 510 Ом.

4.1.32 Задаем минимальный ток I_{д.мин} через делитель напряжения R5, R6, R7, А, из условия:

$$I_{Б4.max} \ll I_{д.мин} = 5 * 10^{-3}.$$

4.1.33 Определяем суммарное сопротивление резисторов делителя напряжения R5, R6, R7, Ом, по формуле:

$$R_5 + R_6 + R_7 = \frac{U_{вых.min}}{I_{д.мин}}, \quad (25)$$

$$R_5 + R_6 + R_7 = \frac{16}{5 * 10^{-3}} = 3200.$$

4.1.34 Определим сопротивление резистора R7, Ом, по формуле:

$$R_7 = \frac{U_{cm1.min} - U_{ЭБ1.max}}{I_{д.мин}}, \quad (26)$$

$$R_7 = \frac{8,55 - 2,5}{5 * 10^{-3}} = 1200.$$

4.1.35 Определим суммарное сопротивление резисторов R7 и R6, Ом, по формуле:

$$R_6 + R_7 = \frac{U_{cm1.max} - U_{ЭБ1.max}}{I_{д.мин}}, \quad (27)$$

$$R_6 + R_7 = \frac{9,45 - 0,8}{5 * 10^{-3}} = 1730.$$

4.1.36 Определяем сопротивление резисторов R6 и R5, Ом, по формулам:

$$R_6 = R_7 - (R_6 + R_7), \quad (28)$$

$$R_5 = (R_5 + R_6 + R_7) - R_7 - R_6, \quad (29)$$

$$R_5 = 3200 - 1200 - 510 = 1490.$$

4.1.37 Определяем общую мощность, рассеиваемую на делителе напряжения P_{R_d} ,

$$P_{R\partial} = \frac{U_{\text{mix. max}}^2}{R_5 + R_6 + R_7}, \quad (30)$$

$$P_{R\partial} = \frac{20^2}{3200} = 0,125.$$

Для делителя напряжения выбираем резисторы С2-33Н, мощностью 0,25, сопротивлением $R_5 = 1.5 \text{ кОм}$, $R_6 = 510 \text{ Ом}$, $R_7 = 1.2 \text{ кОм}$.

4.1.38 Определим минимальное значение к.п.д. стабилизатора η , %, по формуле:

$$\eta = \frac{P_h * 100}{P_h + \sum P_{nom}}, \quad (31)$$

где P_H – мощность рассеиваемая на нагрузке, Вт, $P_H = 20$;

$\Sigma P_{\text{пот}}$ – суммарные потери мощности в схеме, Вт.

$$\sum P_{nom} = P_{K1} + P_{K2} + P_{K3} + P_{o1} + P_{o2} + P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} + P_{R4} + P_{R\theta} , \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \sum P_{nom} &= 16,3 + 0,62 + 19,4 * 1,5 * 10^{-3} + 14,3 * 3,7 * 10^{-3} + 9 * 8 * 10^{-3} + 3,3 * 10^{-2} + 0,13 + 0,16 + 0,39 + \\ &\quad + 0,016 + 0,125 = 17,9, \\ \eta &= \frac{20 * 1 * 100}{(20 * 1) + 17,9} \approx 53. \end{aligned}$$

4.1.39 Определим коэффициент стабилизации схемы $K_{\text{СТ}}$, по формуле:

$$K_{cm(U)} = \frac{U_{\text{ex}}}{U_{\text{blix}}} \times \frac{n_{\text{d}}}{r_{\text{ex4}} \left(\frac{1}{r'_{\text{K3}}} + \frac{1}{R'_{\text{K}}} \right)}, \quad (33)$$

$$n_{\delta} = \frac{R_6 + R_7}{R_5 + R_6 + R_7}, \quad (34)$$

$$r'_{K1} \approx \frac{r_{K1.\min}^* r_{K3.\min}}{r_{K1.\min} + \frac{r_{K3.\min}}{h_{2122}}}, \quad (35)$$

$$n_o = \frac{1710}{3200} = 0,535$$

$$r'_{K1} \approx \frac{300 * 500}{300 + \frac{500}{(20 - 30)}} = 460 - 500 .$$

$$K_{cm(U)} = \frac{26,5 * 0,535 * 10^4}{20 * 3,41 * 24(21,5 + 0,58)} = 3,9$$

Значения необходимые для расчетов определены с помощью [11,12].

4.1.40 Определим температурные отклонения выходного напряжения стабилизатора $\delta U_{\text{вых}(T)}$, %, по формуле:

$$\delta U_{\text{вых}(T)} \approx \alpha_{\text{ст}2} * \Delta T_{\text{ср}}, \quad (36)$$

где $\alpha_{\text{ст}2} = \pm 0,002$.

$$\delta U_{\text{вых}(T)} = \pm 0,002 * 40 = \pm 0,08.$$

4.1.41 Определим общую нестабильность выходного напряжения δU_n , %, по формуле:

$$\delta U_n = \frac{\delta U_n}{K_{cm(U)}} + \delta U_{H(T)}, \quad (37)$$

$$\delta U_n = \frac{\pm 10}{3,9} + 0,08 = \pm 2,64 .$$

4.2 Конструкторские расчеты

4.2.1 Расчет площади печатной платы

Элементы схемы на печатной плате располагают в рабочей зоне. На плате необходимо также предусмотреть зону (зоны) для механического закрепления в боке, а также зону (зоны) для установки электрических соединений. При внутренней компоновке элементов на плате было принято решение разместить крепежные отверстия в рабочей зоне платы и не использовать разъемы для внешних подключений. Вследствие этого площадь печатной платы будет равна площади рабочей зоны.

Расчёт площади рабочей зоны для высокой ($S_{\text{раб.min}}$, мм²) и низкой ($S_{\text{раб.max}}$, мм²) плотности компоновки осуществляется по формулам:

$$S_{\text{раб.min}} = 2,5 S_{\text{мг}} + 1,8 S_{\text{сг}} + 1,2 S_{\text{кг}}, \quad (38)$$

$$S_{\text{раб.max}} = 4,0 S_{\text{мг}} + 3,0 S_{\text{сг}} + 1,5 S_{\text{кг}}, \quad (39)$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 45 |

где $S_{\text{мг}}$ – суммарная установочная площадь для малогабаритных элементов, мм²,
 $S_{\text{сг}}$ – суммарная установочная площадь для среднегабаритных элементов, мм²,
 $S_{\text{кг}}$ – суммарная установочная площадь для крупногабаритных элементов, мм².

$$S_{\text{раб.мин}} = 2,5 \times 1102,9 + 1,8 \times 3421,0 + 1,2 \times 4872,0 = 14761,45,$$

$$S_{\text{раб.мах}} = 4,0 \times 1102,9 + 3,0 \times 3421,0 + 1,5 \times 4872,0 = 21982,60.$$

По данным, полученным при вычислении $S_{\text{раб.мин}}$ и $S_{\text{раб.мах}}$, можно выбрать площадь печатной платы $S_{\text{пл}}$, мм², в соответствии с ГОСТ 10317 – 79:

$$S_{\text{пл}} = A \times B, \quad (40)$$

где A – ширина печатной платы, мм,

B – длина печатной платы, мм.

$$S_{\text{пл}} = 100 \times 160 = 16000.$$

В результате проведенного расчета рабочая поверхность разработанной платы оказалась 16000 мм². Данная площадь входит в диапазон между $S_{\text{раб.мин}}$ и $S_{\text{раб.мах}}$.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 46 |

Таблица 4.1 – Габаритные параметры элементов схемы

| Группа | Наименование Элементов | Позиционное обозначение | Масса, г | Габарит размеры АхВхС, мм³ | Вариант установки | Установочная площадь элемента S=АхВ, мм² | Установочная площадь группы элементов, мм² |
|-----------------------------------|---------------------------|---|----------|--|----------------------|---|---|
| Малога- баритные элементы | Резистор C2-33H | R1-R29, R31-R40 | 0,15 | 6,0 x 2,3 x 2,3 | Ia | 13,8 | 1102,9 |
| | Диод КД521А | VD5-VD13, VD16 | 0,18 | 5,4 x 2,2 x 2,2 | Ia | 11,9 | |
| | Диод 1N4937 | VD3, VD4, VD17, VD19-VD22 | 0,34 | 4,2 x 2,0 x 2,0 | Ia | 8,4 | |
| | Транзистор BF422 | VT1, VT4, VT5, VT8, VT10, VT12, VT18, VT20, VT21 | 1,00 | 4,8 x 4,2 x 5,2 | IIb | 20,2 | |
| | Транзистор BF423 | VT2, VT3, VT6, VT7, VT9, VT11, VT19 | 1,00 | 4,8 x 4,2 x 5,2 | IIb | 20,2 | |
| | Стабилитрон KC215Ж | VD1, VD2, VD18 | 0,20 | 5,4 x 2,2 x 2,2 | Ia | 11,9 | |
| | Стабилитрон KC218Ж | VD14, VD15 | 0,20 | 5,4 x 2,2 x 2,2 | Ia | 11,9 | |
| Среднега- баритные элементы | Резистор C2-33H | R30 | 0,50 | 15,0 x 5,0 x 5,0 | Ia | 75,0 | 3421,0 |
| | Конденсатор К50-68 | C13, C14 | 3,00 | 13,0 x 9,0 x 9,0 | Ia | 81,0 | |
| | Конденсатор К73-17 | C1, C2, C15 | 3,00 | 15,0 x 12,0 x | Ia | 96,0 | |
| | Диод КД213А | VD23-VD26 | 6,00 | 8,0 | Ia | 70,0 | |
| | Транзистор 2SJ162 | VT14, VT16 | 5,00 | 14,0 x 14,0 x | Vb | 546,0 | |
| | Транзистор IRF540 | VT17 | 3,00 | 5,0 | Vb | 255,0 | |
| | Транзистор 2SK1058 | VT13, VT15 | 5,00 | 15,6 x 4,8 x | Vb | 546,0 | |
| | | | | 19,9 10,2 x 4,5 x 15,5 15,6 x 4,8 x 19,9 | | | |
| Крупнога- баритные элементы | Конденсатор К50-68 | C3, C4 | 6,00 | 36,0 x 19,0 x | Ia | 361,0 | 4872,0 |
| | Реле TRIL2AM | K1 | 15,00 | 19,0 | Ia | 368,3 | |
| | Конденсатор ECR | C5-C12 | 10,00 | 29,0 x 12,7 x 15,7 41 x 22 x 22 | Ia | 484 | |

4.2.2 Конструктивно-технологический расчет печатного монтажа

Из-за несложной схемы и рисунка печатных проводников, а также для обеспечения

минимальной стоимости печатной платы, выбираем по ОСТ 4.10.022-85 одностороннюю печатную плату, изготавливаемую химическим методом без металлизации монтажных отверстий. Так как по результатам предварительной трассировки платы необходимо размещение одного печатного проводника между контактными площадками в узлах координатной сетки 1,25 мм, выбираем третий класс точности изготовления платы.

Для изготовления печатной платы выбираем материал – стеклотекстолит СФ-1-18-1,5 ГОСТ 10316 – 78, обладающий следующими характеристиками:

- толщина фольги $h_f = 18$ мкм;
- допустимая плотность тока $I_{\text{доп}} = 20$ А/мм²;
- удельное сопротивление фольги $\rho = 0,05$ Ом·мм²/м.

При расчетах используются конструктивные, ограничения соответствующие третьему классу точности:

- минимальное значение номинальной ширины проводника $b = 0,25$ мм;
- номинальное расстояние между проводниками $S = 0,25$ мм;
- отношение диаметра отверстия к толщине платы $\gamma \geq 0,33$;
- допуск на отверстие $\Delta d = \pm 0,05$ мм;
- допуск на расположение отверстий $\delta d = 0,08$ мм;
- допуск на расположение контактных площадок $\delta p = 0,2$;
- допуск на расположение проводников на односторонней печатной плате

$\delta l = 0,05$ мм;

- расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки $b_m = 0,035$ мм;

4.2.2.1 Определяем минимальную ширину $b_{\text{min I}}$, мм, печатного проводника по постоянному току для цепей питания и шин заземления по формуле

$$b_{\text{min I}} = I_{\text{max П}} / I_{\text{доп}} h_f, \quad (41)$$

где $I_{\text{max П}}$ – максимальный постоянный ток в проводниках, А (задается в ТЗ, либо определяется из конструктивного анализа работы принципиальной схемы изделия),

$I_{\text{max П}} = 10$ А;

$$b_{\text{min I}} = 10 / 20 \times 0,018 = 27,8$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 48 |

4.2.2.2 Определяем минимальную ширину $b_{\min U}$, мм, печатного проводника, исходя из допустимого падения напряжения на нем, по формуле

$$b_{\min U} = \rho I_{\max C} L / h_{\phi} U_{\text{доп}}, \quad (41)$$

где L – максимальная длина сигнального печатного проводника, м;

$I_{\max C}$ – максимальный ток в сигнальных цепях, мА ($I_{\max}=100$);

$U_{\text{доп}}$ – допустимое падение напряжения, В, определяемое из анализа работы электрической схемы (не должно превышать 5% от питающего напряжения и быть не более запаса помехоустойчивости), $U_{\text{доп}} = 0,36$ В.

$$b_{\min U} = 0,05 \times 0,1 \times 0,378 / 0,018 \times 0,36 = 0,29$$

4.2.2.3 Минимальная ширина печатных проводников для ОПП, изготовленных химическим методом, определяется по формуле

$$b_{\min} = b + 1,5 h_{\phi}, \quad (42)$$

где b – минимальное значение номинальной ширины проводника, мм.

$$b_{\min} = 0,25 + 1,5 \times 0,018 = 0,28$$

4.2.2.4 Максимальная ширина печатного проводника b_{\max} , мм, определяется по формуле

$$b_{\max} = b_{\min} + (0,02 \dots 0,06), \quad (43)$$

$$b_{\max} = 0,28 + 0,02 = 0,3$$

4.2.2.5 Выбираем ширину печатных проводников в сигнальных цепях из условия

$$b \geq b_{\min},$$

$$b \geq 0,28$$

$$b = 0,3 \text{ мм}$$

в цепях питания и шинах заземления из условия

$$b \geq \max \{ b_{\min}; b_{\min I}; b_{\min U} \}.$$

$$b \geq \max \{ 0,28; 27,8; 0,29 \}$$

$$b = 27,8 \text{ мм}$$

4.2.2.6 Проверяем проводники с выбранной шириной b на допустимый ток при выбранной толщине фольги h_{ϕ} и методе изготовления платы. Ширина проводника выбрана верно, если выполняется условие: $I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$.

$$0,1 \leq 0,12$$

4.2.2.7 С целью обеспечения минимального числа типоразмеров отверстий, диаметры выводов элементов разделяют на группы, отличающиеся по диаметру сверла, которым будут выполняться отверстия. Это требует применения нескольких диаметров сверл. Диаметры выводов элементов были разделены на три группы (по рекомендациям ОСТ 4.070.010-78). Рассчитаем номинальные значения диаметров d , мм монтажных отверстий по группам выводов элементов по формуле

$$d = d_{\text{э}} + |\Delta d \text{ н.о.}| + r, \quad (44)$$

где $d_{\text{э}}$ – максимальный диаметр вывода элемента, устанавливаемого на плату, мм;

$\Delta d \text{ н.о.}$ – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра монтажного отверстия, мм;

r – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода элемента, мм (выбирают по рекомендациям ОСТ 4.070.010-78 «Платы печатные под автоматическую установку элементов. Конструкция и основные размеры» в пределах 0,1...0,4 мм).

$$d_1 = 1,9 + 0,1 + 0,1 = 2,1,$$

$$d_2 = 1,3 + 0,1 + 0,1 = 1,5,$$

$$d_3 = 0,8 + 0,05 + 0,1 = 1,0.$$

4.2.2.8 Так как металлизация отверстий на плате данного прибора отсутствует, следовательно проверять наименьшее значение диаметра монтажного отверстия d_{min} на соответствие конструктивному ограничению γ нет необходимости.

4.2.2.9 Максимальный диаметр просверленного отверстия d_{max} , мм, определяется по формуле

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (45)$$

где Δd – допуск на отверстие, мм.

$$d_{\text{max } 1} = 2,1 + 0,1 + 0,1 = 2,3,$$

$$d_{\text{max } 2} = 1,5 + 0,1 + 0,1 = 1,7,$$

$$d_{\text{max } 3} = 1,0 + 0,1 + 0,1 = 1,2.$$

4.2.2.10 Минимальный эффективный диаметр $D_{1 \text{ min}}$, мм, контактной площадки определяется по формуле:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 50 |

$$D_{1 \min} = 2 (b_m + d_{\max} / 2 + \delta d + \delta p), \quad (46)$$

где b_m – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки, мм;
 $\delta d, \delta p$ – допуски на расположение отверстий и контактных площадок, мм.

$$D_{1 \min 1} = 2 (0,035 + 2,3 / 2 + 0,08 + 0,2) = 2,05,$$

$$D_{1 \min 2} = 2 (0,035 + 1,7 / 2 + 0,08 + 0,2) = 1,37,$$

$$D_{1 \min 3} = 2 (0,035 + 1,2 / 2 + 0,08 + 0,2) = 1,12.$$

4.2.2.11 Минимальный диаметр контактной площадки для ОПП, изготовленных химическим методом, определяется по формуле

$$D_{\min} = D_{1 \min} + h_{\phi}, \quad (47)$$

$$D_{\min 1} = 2,05 + 0,018 = 2,068,$$

$$D_{\min 2} = 1,37 + 0,018 = 1,388,$$

$$D_{\min 3} = 1,12 + 0,018 = 1,136.$$

4.2.2.12 Максимальный диаметр контактной площадки D_{\max} , мм, определяется по формуле

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06), \quad (48)$$

$$D_{\max 1} = 2,068 + 0,02 = 2,088,$$

$$D_{\max 2} = 1,388 + 0,02 = 1,408,$$

$$D_{\max 3} = 1,136 + 0,02 = 1,156.$$

4.2.2.13 Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой $S_{1 \min}$, мм, определяется по формуле

$$S_{1 \min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta p) + (b_{\max} / 2 + \delta l)], \quad (49)$$

где L_0 – расстояние между центрами элементов рисунка на чертеже, мм,

δl – допуск на расположение проводников, мм.

$$S_{1 \min 1} = 1,25 - [(2,088 / 2 + 0,2) + (0,3 / 2 + 0,05)] = - 0,194,$$

$$S_{1 \min 2} = 1,25 - [(1,408 / 2 + 0,2) + (0,3 / 2 + 0,05)] = 0,146,$$

$$S_{1 \min 3} = 1,25 - [(1,156 / 2 + 0,2) + (0,3 / 2 + 0,05)] = 0,272.$$

По результатам расчета для $S_{1 \min 1}$ получена отрицательная величина, что указывает на невозможность прокладки печатного проводника между контактными площадками при нормах на допускаемые отклонения изготовления элементов печатного монтажа без занижения контактных площадок. Для выполнения норм необходимо в узких местах

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 51 |

занизить диаметр контактной площадки на 0,425 мм.

4.2.2.14 Минимальное расстояние между двумя контактными площадками $S_{2 \min}$, мм, определяется по формуле

$$S_{2 \min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \delta p), \quad (50)$$

$$S_{2 \min 1} = 2,5 - (2,088 + 2 \times 0,2) = 0,012,$$

$$S_{2 \min 2} = 2,5 - (1,408 + 2 \times 0,2) = 0,692,$$

$$S_{2 \min 3} = 2,5 - (1,156 + 2 \times 0,2) = 0,944.$$

Так как $S_{2 \min 1}$ не соответствует классу точности, требуется занижение контактных площадок в узких местах на 0,12 мм каждую.

4.2.2.15 Минимальное расстояние между двумя проводниками $S_{3 \min}$, мм, определяется по формуле

$$S_{3 \min} = L_0 - (b_{\max} + 2 \delta l), \quad (51)$$

$$S_{3 \min} = 1,25 - (0,3 + 2 \times 0,05) = 0,85.$$

4.2.2.16 Минимальное расстояние между центрами двух контактных площадок при прокладке между ними N печатных проводников $S_{4 \min}$, мм, определяется по формуле

$$S_{4 \min} = 0,5D_{1\max} + 0,5D_{2\max} + 2\delta p + (b_{\max} + \delta l)N + S(N+1), \quad (52)$$

где S – номинальное расстояние между проводниками, мм.

$$S_{4 \min} = 0,5 \times 2,088 + 0,5 \times 2,088 + 2 \times 0,2 + (0,3 + 0,05) \times 1 + 0,25 \times (1+1) = 5,34.$$

По результатам расчета необходимо занижение контактных площадок на 0,17 мм каждую.

4.2.2.17 Минимальное расстояние центра отверстия от края платы для прокладки N печатных проводников между контактной площадкой отверстия и краем платы $S_{5 \min}$, мм, определяется по формуле

$$S_{5 \min} = 0,5D_{\max} + \delta p + (S + b_{\max} + \delta l)N + S_{\text{оп}}, \quad (53)$$

где $S_{\text{оп}}$ - минимальное расстояние от края платы до печатного проводника (для печатной платы толщиной более 1 мм расстояние $S_{\text{оп}}$ должно быть более толщины платы).

$$S_{5 \min} = 0,5 \times 2,088 + 0,2 + (0,25 + 0,3 + 0,05) \times 1 + 2,5 = 6,454.$$

По результатам расчета необходимо занижение контактной площадки со стороны края на 0,254 мм.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 52 |

4.2.2.18 Диэлектрическая проницаемость среды между проводниками ϵ определяется по формуле

$$\epsilon = (\epsilon_{\text{в}} + \epsilon_{\text{п}}) / 2, \quad (54)$$

где $\epsilon_{\text{п}}$ – диэлектрическая проницаемость материала (для стеклотекстолита СФ -1, $\epsilon_{\text{п}} = 6$);

$\epsilon_{\text{в}}$ – диэлектрическая проницаемость воздуха, $\epsilon_{\text{в}} = 1$ (если плата покрыта лаком, то диэлектрическая проницаемость лака $\epsilon_{\text{л}} = 9$).

$$\epsilon = (6 + 9) / 2 = 7,5.$$

4.2.2.19 Погонная емкость $C_{\text{пог}}$, пФ/см, определяется по формуле

$$C_{\text{пог}} = K_{\text{п}} \epsilon, \quad (55)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности (определяется по графику на рисунке 3.12 [3]).

$$C_{\text{пог}} = 0,21 \times 7,5 = 1,58.$$

4.2.2.20 Паразитная емкость C , пФ, между двумя проводниками определяется по формуле

$$C = C_{\text{пог}} L_i, \quad (56)$$

где L_i – длина взаимного перекрытия проводников, см.

$$C = 1,58 \times 5,5 = 8,69.$$

4.2.2.21 Паразитная взаимная индуктивность M , нГн, между проводниками определяется по формуле

$$M = 2 L_i [\ln (2 L_i / (S + 0,5 (b_1 + b_2))) - 1], \quad (57)$$

где S – расстояние между проводниками, см;

b_1, b_2 – ширина печатных проводников, см.

$$M = 2 \times 5,5 [\ln (2 \times 5,5 / (0,25 + 0,5 (0,3 + 0,3))) - 1] = 21,95$$

4.2.2.22 Индуктивность печатного проводника L , мкГн, определяется по формуле

$$L = L_{\text{пог}} L_i, \quad (58)$$

где $L_{\text{пог}}$ – погонная индуктивность печатного проводника, мкГн/см (рисунок 3.15 [3]);

L_i – длина печатного проводника, см.

$$L = 0,0175 \times 39,7 = 0,66.$$

Рассчитанные значения паразитных C, M, L не превышают предельно допустимые, а значит дополнительных конструктивных мер не требуется.

| | | | | | |
|-----|------|---------|-------|--------------------------|------|
| | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | 53 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | | Дата |

4.3 Расчет надежности

4.3.1 Исходные данные:

4.3.1.1 Условия эксплуатации – наземная стационарная аппаратура (поправочные коэффициенты $K_1 = 1,04$; $K_2 = 1,03$);

4.3.1.2 Температура окружающей среды – комнатная ($+20^{\circ}\text{C}$);

4.3.1.3 Влажность – нормальная (климатические факторы $K_3 = 1$);

4.3.1.4 Атмосферное давление соответствует высоте над уровнем моря 0 – 1 км (поправочный коэффициент $K_4 = 1$)

4.3.1.5 Интенсивности отказов элементов схемы $\lambda_{oi} 10^6 \times 1/\text{час}$:

- резисторы постоянные - 0,16;
- конденсаторы неполярные - 0,15;
- конденсаторы полярные - 0,35;
- транзисторы - 0,5;
- диоды полупроводниковые - 0,2;
- стабилитроны кремниевые - 0,5;
- электрические соединители - 0,06 на один контакт;
- соединения пайкой - 0,01.

4.3.1.6 Коэффициенты нагрузки элементов схемы:

- для резисторов – 0,5;
- коэффициент нагрузки конденсаторов K_n рассчитывается по формуле

$$K_n = U_{\text{раб}}/U_{\text{ном}}, \quad (59)$$

где $U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение, В;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, В.

- для транзисторов – 0,1;
- для диодов – 0,1;
- для электрических соединений – 1;
- для остальных элементов схемы – 1;

4.3.2 Интенсивность отказов элементов с учётом условий эксплуатации определяется по формуле

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 54 |

Таблица 4.2 – Расчет интенсивности отказа УМЗЧ без ООС

| Порядковый номер группы элементов | Наименование элемента | Тип элементов | Позиционные обозначения элементов | Количество элементов в группе | Коэффициенты нагрузки | Температура, °C | Поправочные коэффициенты | Интенсивности отказов, $\times 10^{-6}/\text{час}$ | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------|--|-------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|--|---|----------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | | | | Элементов в номинальном режиме | Элементов с учётом условий эксплуатации | Элементов в рабочем режиме | Группы элементов в рабочем режиме |
| j | | | | N_j | K_n | T | α_i | λ_{oj} | λ_j | λ_{jp} | $\lambda_{jp} \times N_j$ |
| 1 | Конденсатор полярный | K50-68 | C3, C4 | 2 | 0,5 | 20 | 0,48 | 0,35 | 0,37 | 0,18 | 0,36 |
| 2 | Конденсатор неполярный | K73-17 | C13, C14 | 2 | 1 | 20 | 0,48 | 0,35 | 0,37 | 0,18 | 0,36 |
| | | | C1, C2 | 2 | 0,2 | 20 | 0,36 | 0,15 | 0,16 | 0,06 | 0,12 |
| | | | C15 | 1 | 0,1 | 20 | 0,36 | 0,15 | 0,16 | 0,06 | 0,06 |
| 3 | Резистор | C2-33H | R1-R40 | 40 | 0,5 | 20 | 0,46 | 0,16 | 0,17 | 0,08 | 3,20 |
| 4 | Транзистор | BF422 | VT1, VT4, VT5, VT8, VT10, VT12, VT18, VT20, VT21 | 9 | 0,1 | 20 | 0,06 | 0,5 | 0,54 | 0,03 | 0,27 |
| | | BF423 | VT2, VT3, VT6, VT7, VT9, VT11, VT19 | 7 | 0,1 | 20 | 0,06 | 0,5 | 0,54 | 0,03 | 0,21 |
| | | 2SK1058 | VT13, VT15 | 2 | 0,1 | 20 | 0,06 | 0,5 | 0,54 | 0,03 | 0,06 |
| | | 2SJ162 | VT14, VT16 | 2 | 0,1 | 20 | 0,06 | 0,5 | 0,54 | 0,03 | 0,06 |
| | | IRF540 | VT17 | 1 | 0,1 | 20 | 0,06 | 0,5 | 0,54 | 0,03 | 0,03 |
| 5 | Диод | 1N4937 | VD3, VD4, VD17, VD19-VD22 | 7 | 0,1 | 20 | 0,85 | 0,2 | 0,21 | 0,18 | 1,26 |
| | | KD521A | VD5-VD13, VD26 | 10 | 0,1 | 20 | 0,85 | 0,2 | 0,21 | 0,18 | 1,80 |
| | | KD213A | VD23-VD26 | 4 | 0,1 | 20 | 0,85 | 0,2 | 0,21 | 0,18 | 0,72 |
| 6 | Стабилитрон | KC215Ж | VD1, VD2, VD18 | 3 | 0,1 | 20 | 1 | 0,5 | 0,54 | 0,54 | 1,62 |
| | | KC218Ж | VD14, VD15 | 2 | 0,1 | 20 | 1 | 0,5 | 0,54 | 0,54 | 1,08 |
| 7 | Плавкий предохранитель | ПВ-10 | FU1, FU2 | 2 | 1 | 20 | 1 | 0,4 | 0,43 | 0,43 | 0,86 |
| 8 | Электрические соединения: | | | | | | | | | | |
| | Реле | WJ113A | K1 | 1 | 1 | 20 | 1 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| | Разъем питания | | XP1-XP8 | 9 | 1 | 20 | 1 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 1,17 |
| | Соединения пайкой | - | - | 270 | 1 | 20 | 1 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 2,70 |

| | | | | |
|------|------|---------|-------|------|
| Изм. | Лист | N докум | Подп. | Дата |
|------|------|---------|-------|------|

ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ

Лист

56

Продолжение таблицы 4.2

| | |
|--|-------|
| Интенсивность отказов УМЗЧ без общей обратной связи $\lambda \times 10^{-6}$ 1/час | 16,07 |
| Среднее время наработки до отказа $T_{cp} \times 10^6$ час | 0,06 |

4.3.8 Расчет вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $Q(t)$ представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет наработки до отказа

| Время работы t , час | 1 | 10 | 100 | 1000 | 10000 | 60000 |
|---|----------|---------|--------|-------|-------|-------|
| Вероятность безотказной работы $P(t) = e^{-\lambda \times t}$ | 0,999983 | 0,99983 | 0,9983 | 0,984 | 0,85 | 0,38 |
| Вероятность отказа $Q(t) = 1 - P(t)$ | 0,000017 | 0,00017 | 0,0017 | 0,016 | 0,15 | 0,62 |

График зависимости вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказов $Q(t)$ изображен на рисунке 4.2.

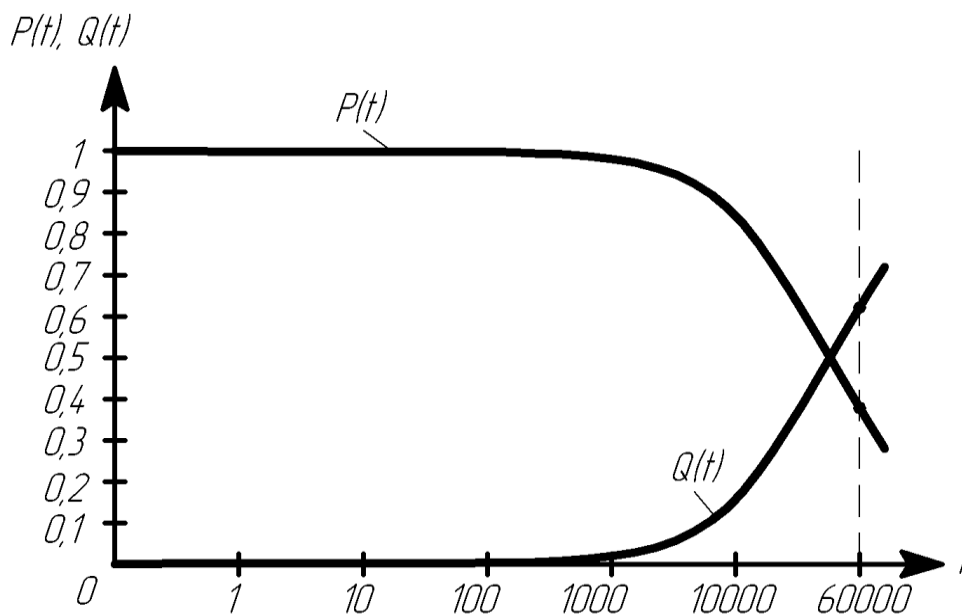


Рисунок 4.2

4.4 Технико-экономический расчет

Экономический расчет проводится с целью определения себестоимости изделия. Экономический расчет проводится согласно технологическому процессу.

Планом производства предусмотрено изготовление 10000 шт. печатных узлов.

| | | | | |
|------|------|---------|-------|------|
| Изм. | Лист | N докум | Подп. | Дата |
|------|------|---------|-------|------|

Разряд работ, норма штучного времени, оборудование сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Технологический процесс сборки и монтажа печатного узла

| № п/п | Наименование операции | Разряд работ | Норма штучного времени (Тшт.), мин | Оборудование |
|-------|-----------------------|--------------|------------------------------------|------------------|
| 1 | Входной контроль | 4 | 4,60 | Стол контролера |
| 2 | Подготовка | 3 | 20,30 | Стол монтажника |
| 3 | Лужение | 3 | 12,30 | Стол монтажника |
| 4 | Расконсервация ПП | 4 | 0,50 | Стол промывщика |
| 5 | Сборка | 3 | 5,60 | Стол монтажника |
| 6 | Монтаж | 4 | 35,92 | Стол монтажника |
| 7 | Лакирование ПП | 4 | 0,75 | Стол лакировщика |
| 8 | Контроль | 4 | 10,6 | Стол контролера |
| | ИТОГО | | 90,57 | |

4.4.1 Производственные расчеты

4.4.1.1 Расчет фонда времени работы оборудования

Таблица 4.5 – Баланс времени работы оборудования в год

| Показатели | Значения |
|---|----------|
| Календарный период, в днях | 365 |
| Праздничные и выходные, дни | 116 |
| Количество рабочих дней | 249 |
| Режим работы | 1 |
| Продолжительность смены, в часах | 8 |
| Номинальный фонд времени работы оборудования, час | 1992 |
| Потери рабочего времени на ремонт оборудования, час | 110 |
| Эффективный фонд времени работы оборудования, час | 1882 |

4.4.1.2 Расчет потребного количества единиц оборудования

Потребное количество оборудования C_{ipm} , в единицах, рассчитывается по формуле

$$C_{ipm} = \frac{N_{пр} * T_{шт}}{F_{эф} * 60 * K_{вн}} = \frac{N_{ih/час}}{V_{пр}}, \quad (65)$$

где $T_{шт}$ – норма штучного времени по технологическому процессу, в минутах;

Фэф – эффективный фонд времени работы оборудования, в часах;

Нн/час – годовая трудоемкость в н/часах по данной операции;

Впр – выработка на одно рабочее место, в часах;

Квн – коэффициент выполнения нормы (Квн = 1).

Выработка на одно рабочее место Впр, в часах определяется по формуле

$$Впр = Фэф \cdot Квн, \quad (66)$$

$$Впр = 1882 \cdot 1 = 1882.$$

Расчет производим по одной операции, остальные сводим в таблицу 9

$$Спрм1 = \frac{10000 \cdot 4,6}{1882 \cdot 60 \cdot 1} = 0,4.$$

Таблица 4.6 – Расчет потребного количества оборудования

| Наименование оборудования | Тшт, мин | Программа выпуска | | Выработка на 1 раб. место, в часах | Количество оборудования | | % загрузки оборудования |
|---------------------------|----------|-------------------|-------|------------------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|
| | | Шт. | Н/час | | Расчетное | Принятое | |
| Стол контролера | 4,60 | 10000 | 767 | 1882 | 0,49 | 1 | 49 |
| Стол монтажника | 20,30 | | 3384 | | 1,80 | 2 | 90 |
| Стол монтажника | 12,30 | | 2050 | | 1,08 | 2 | 54 |
| Стол промывщика | 0,50 | | 83 | | 0,04 | 1 | 4 |
| Стол монтажника | 5,60 | | 933 | | 0,49 | 1 | 49 |
| Стол монтажника | 35,92 | | 5987 | | 3,18 | 4 | 80 |
| Стол лакировщика | 0,75 | | 125 | | 0,06 | 1 | 6 |
| Стол контролера | 10,60 | | 1767 | | 0,93 | 1 | 93 |
| ИТОГО | 90,57 | | 15096 | | 8,07 | 13 | 62 |

Принятое количество оборудования определяем, округляя расчетное до целого числа в большую сторону.

4.4.1.3 Расчет загрузки оборудования

Процент загрузки оборудования %Заг, на данной операции определяем по формуле

$$\%Заг = Спрм / Спрм, \quad (67)$$

где Спрм – расчетное количество оборудования;

Спрм – принятое количество оборудования.

$$\%Заг = (0,49/1) \cdot 100 = 49.$$

Средний процент загрузки %Заг.ср, определяем по формуле

$$\%Заг.ср = \Sigma С_{рм} / \Sigma С_{прм} * 100\%, \quad (68)$$

где $\Sigma С_{рм}$ – суммарное количество единиц расчетного оборудования;

$\Sigma С_{прм}$ – суммарное количество единиц принятого оборудования.

$$\%Заг.ср = 8,07/13 * 100 = 62.$$

Оборудование загружается на 62%. На данном участке возможно размещение изготовления аналогичных изделий с целью дозагрузки оборудования до норматива (85%).

Таблица 4.7 – Сводная ведомость стоимости оборудования

| Наименование оборудования | Количество принятого оборудования | Стоимость оборудования, рублей | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | | Единицы оборудования | Общая с учетом монтажа |
| Стол контролера (Браслет, лупа, микроскоп) | 1 | 6236 | 7171 |
| Стол монтажника (Шкурка, шаблон, полуавтомат, приспособление для выпрямления) | 2 | 15812 | 36367 |
| Стол монтажника (Электрическая лудилка, тара для флюса, кисть) | 2 | 15166 | 34882 |
| Стол промывщика (Тара для спирто-бензиновой смеси, вибрационная установка, шкаф) | 1 | 5627 | 6471 |
| Стол монтажника (полуавтомат (пресс)) | 1 | 14632 | 16827 |
| Стол монтажника (кисть, термopapa, тара для флюса) | 4 | 13812 | 63535 |
| Стол лакировщика (Ножницы, защитная бумага, ванна лакировочная, сушильный шкаф) | 1 | 4127 | 4746 |
| Стол контролера (Микроскоп, лупа) | 1 | 6236 | 7171 |
| ИТОГО | 13 | | 177170 |

Общую стоимость с учетом монтажа определяем, как произведение стоимости единицы оборудования на количество принятых единиц оборудования на коэффициент 1,15.

4.4.1.4 Расчет численности рабочих

4.4.1.4.1 Расчет полезного фонда рабочего времени

Расчет полезного фонда рабочего времени одного рабочего произведем по таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени одного рабочего в год

| Показатели | Дни | Часы | % |
|--|-----|------|------|
| Календарный фонд времени | 365 | - | - |
| Праздничные и выходные дни | 116 | - | - |
| Количество рабочих дней (номинальный фонд) | 249 | 1992 | 100 |
| Целодневные потери: | | | |
| а) Очередной отпуск | 20 | 160 | 8 |
| б) Дополнительный отпуск | - | - | - |
| в) Не выходы по болезни | 5 | 40 | 2 |
| г) Выполнение гос. обязанностей | 1 | 8 | 0,4 |
| д) Ученический отпуск | - | - | - |
| Итого потерь | 26 | 208 | 10,4 |
| Полезный фонд времени (Fп) | - | 1784 | 89,6 |
| Средняя продолжительность рабочего дня | - | 7,2 | - |

Полезный фонд времени Fп, в часах, определяется по формуле

$$F_p = F_n - F_n * \%П / 100\%, \quad (69)$$

где Fн – номинальный фонд работы одного рабочего в год, в часах;

%П – процент потерь (всего) рабочего времени.

$$F_p = 1992 - 1992 * (10,4 / 100\%) = 1784.$$

Среднюю продолжительность рабочего дня определяем, как частное от деления полезного фонда на количество рабочих дней в году.

4.4.1.4.2 Расчет численности основных производственных рабочих

Численность основных производственных рабочих Ч_{пр} (человек), определяется по формуле

$$Ч_{пр} = N_{ih} / В_{ыр}, \quad (70)$$

где В_{ыр} – выработка одного рабочего, в часах.

Выработка одного рабочего В_{ыр}, в часах определяется по формуле

$$В_{ыр} = F_p * K_{вн}, \quad (71)$$

$$\text{Выр} = 1784 \cdot 1 = 1784.$$

$$\text{Ч}_{\text{р}1} = 767/1784 = 0,43.$$

Для остальных операций расчет выполнен в таблице 4.9.

Принимаем численность рабочих, округляя расчетную до целого числа в меньшую сторону. Рабочий должен быть загружен не менее 100%, если меньше, то совмещаем операции или организуем многостаночное обслуживание.

Таблица 4.9 – Расчет численности основных производственных рабочих

| Профессия | Тшт, мин | Программа выпуска | | Выработка 1 рабочего, час | Численность | | % загрузки |
|------------|-------------|-------------------|-------|---------------------------------|-------------|----------|------------|
| | | Шт. | Н/час | | Расчетная | Принятая | |
| Контролер | 4,60 | 10000 | 767 | 1784 | 0,43 | 1 | 52 |
| Монтажник | 20,30 | | 3384 | | 1,89 | 1 | 189 |
| Монтажник | 12,30 | | 2050 | | 1,15 | 1 | 115 |
| Промывщик | 0,50 | | 83 | | 0,05 | 1 | 5 |
| Монтажник | 5,60 | | 933 | | 0,52 | 1 | 52 |
| Монтажник | 35,92 | | 5987 | | 3,35 | 3 | 112 |
| Лакировщик | 0,75 | | 125 | | 0,06 | 1 | 6 |
| Контролер | 10,60 | | 1767 | | 0,99 | 1 | 99 |
| ИТОГО | 90,57 | | 15096 | | 8,44 | 10 | 84 |

Средний процент загруженности и загруженность по операциям производственных рабочих $\text{Ср}\%$, определяем аналогично формулам (46) и (47).

$$\% \text{Заг}_1 = 0,43/1 \cdot 100 = 43.$$

$$\% \text{Заг. ср} = 8,44/10 \cdot 100 = 84.$$

Средний процент загруженности рабочего составил 84%. На данном участке возможно размещение изготовления аналогичных изделий с целью обеспечения полной загруженности рабочих.

4.4.1.4.3 Расчет численности вспомогательных рабочих

Численность вспомогательных рабочих определяем из расчета 15-20% от числа основных производственных рабочих. Численность младшего обслуживающего персонала определяется из соотношения 1/500 м².

Таблица 4.10 – Численность вспомогательных рабочих

| Профессия | Количество | Разряд |
|--------------------|------------|--------|
| Слесарь - наладчик | 2 | 4 |
| Кладовщик | 1 | 2 |
| Уборщик | 1 | 1 |
| ИТОГО | 4 | |

4.4.1.4.4 Расчет численности инженерно-технических работников (ИТР)

Численность ИТР принимаем исходя из норм управляемости.

Согласно действующим нормативам по управляемости принимаем:

- начальник участка – 1;
- мастер – 1;
- технолог – 2.

4.4.1.4.5 Ведомость состава работающих на участке

Ведомость отражает, какую долю составляет каждая категория работающих в общей численности.

Таблица 4.11 – Ведомость состава работающих на участке

| Категория работающих | Количество | Удельный вес, % |
|-------------------------|------------|-----------------|
| ИТР | 4 | 22 |
| Вспомогательные рабочие | 4 | 22 |
| Основные рабочие | 10 | 56 |
| ИТОГО | 18 | 100 |

4.4.2 Экономические расчеты

Потребное количество материалов и затрат определено в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Потребное количество материалов и затрат

| Наименование материала и комплекта | Единицы измерения | Расход | | Цена за единицу измерения, руб. | Затраты в руб. | |
|------------------------------------|-------------------|------------|-----------|---------------------------------|-----------------|--------------|
| | | На изделие | На выпуск | | На одно изделие | На программу |
| Плата | шт. | 1 | | 16,40 | 16,40 | 164000 |
| Припой | кг. | 0,024 | 240 | 1967 | 45,8 | 458000 |
| Комплект радиоэлементов | шт. | 1 | 10000 | 184,64 | 1265,5 | 12655000 |
| Дополнительные материалы | руб. | - | - | - | 10 | 100000 |
| ИТОГО | | | | | 1572,8 | 13377000 |

4.4.2.1 Расчет фонда заработной платы

4.4.2.1.1 Расчет фонда оплаты труда основных производственных рабочих

Фонд заработной платы основных производственных рабочих складывается из тарифной заработной платы и доплат. Для расчетов используем данные таблицы 4.13.

Таблица 4.13 – Тарифная расценка основных работ

| Операция | Разряд работ | Норма штучного времени | Тарифная ставка, в рублях | Расценка, в рублях | Средняя ставка, в рублях | Средний разряд работ |
|-------------------|--------------|------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|
| Входной контроль | 4 | 4,60 | 26,14 | 2 | 25,84 | 3,6 |
| Подготовка | 3 | 20,30 | 24,95 | 8,44 | | |
| Лужение | 3 | 12,30 | 24,95 | 5,11 | | |
| Расконсервация ПП | 4 | 0,50 | 26,14 | 0,22 | | |
| Сборка | 3 | 5,60 | 24,95 | 2,44 | | |
| Монтаж | 4 | 35,96 | 26,14 | 15,84 | | |
| Лакирование ПП | 4 | 0,75 | 26,14 | 0,33 | | |
| Контроль | 4 | 10,60 | 26,14 | 4,62 | | |
| ИТОГО | | 90,57 | | 39 | | |

Определяем расценку по каждой операции R_i , в рублях по формуле

$$R_i = T_{шт} \cdot C_{ми} / 60, \quad (72)$$

где C_{im} – тарифная часовая ставка соответствующая разряду выполняемой операции.

$$C_{im \text{ 3разр.}} = 3846 * 1,09 / 168 = 24,95.$$

$$C_{im \text{ 4разр.}} = 3846 * 1,142 / 168 = 26,14.$$

$$R_{i1} = 4,60 * 26,14 / 60 = 2.$$

Для остальных операций расчет выполнен в таблице 4.13.

Определяем среднюю тарифную ставку $C_{m \text{ ср}}$, в рублях по формуле

$$C_{m \text{ ср}} = \sum R_i * 60 / \sum T_{шт}, \quad (73)$$

где $\sum R_i$ – общая расценка по основным операциям.

$$C_{m \text{ ср}} = (39 * 60) / 90,57 = 25,84.$$

Определяем средний разряд работ $P_{ср}$ по формуле

$$P_{ср} = \sum (P_i * T_{шт}) / \sum T_{шт}, \quad (74)$$

где P_i – разряд работ по данной операции.

$$P_{ср} = (4,6 * 4) + (20,3 * 3) + (12,3 * 3) + (0,5 * 4) + (5,6 * 3) + (35,92 * 4) + (0,75 * 4) + (10,6 * 4) / 90,57 = 3,6.$$

Значения расчетов заносить в таблицу 4.13.

4.4.2.1.2 Определяем тарифную заработную плату $Z_{тар}$, в рублях по формуле

$$Z_{тар} = C_{m \text{ ср}} * N, \quad (75)$$

где N – трудоемкость годового выпуска в н/часах, по всем операциям технологического процесса.

$$Z_{тар} = 25,84 * 15096 = 390080.$$

4.4.2.1.3 Определяем основную заработную плату с премией и поясной надбавкой $Z_{осн}$, в рублях по формуле

$$Z_{осн} = Z_{тар} (1 + P_p / 100\%) * (1 + P_n / 100\%), \quad (76)$$

где P_p – процент премии 30 %;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 65 |

Пн – процент поясной надбавки 15%.

$$Зосн = 390080(1+30/100)*(1+15/100) = 583170.$$

4.4.2.1.4 Определяем дополнительную заработную плату Здоп, в рублях по формуле

$$Здоп = Зосн*Д/100\%, \quad (77)$$

где Д – процент доплат к основной заработной плате 10%.

$$Здоп = 583170*10/100 = 58317.$$

4.4.2.1.4 Определяем общий фонд заработной платы Зобщ, в рублях по формуле

$$Зобщ = Зосн+Здоп, \quad (78)$$

$$Зобщ = 583170+58317 = 641487.$$

4.4.2.1.5 Определяем среднемесячную заработную плату основных производственных рабочих Зсрм, в рублях по формуле

$$Зсрм = Зобщ/(Чосн*12), \quad (79)$$

где Чосн – принятое число основных рабочих.

$$Зсрм = 641487/(10*12) = 5346.$$

Данные расчетов сводим в таблицу 4.14.

Таблица 4.14 – Заработная плата основных рабочих, в рублях

| Средняя тарифная ставка | Трудоемкость годового выпуска | Годовой фонд оплаты | | | | | | Среднемесячная заработная плата |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------|-----|--------|----|-------|--------|---------------------------------|
| | | Зтар | Пр% | Зосн | Д% | Здоп | Зобщ | |
| 25,84 | 15096 | 390080 | 30 | 583170 | 10 | 58317 | 641487 | 5346 |

4.4.2.1.6 Расчет фонда оплаты труда вспомогательных рабочих

Общий фонд заработной платы вспомогательных рабочих определяется аналогично расчету по основным рабочим. Для расчета использовать данные таблицы 4.15.

Таблица 4.15 – Тариф вспомогательных работ

| Наименование показателя | Численность вспомогательных рабочих | Разряд рабочего | Тарифный коэффициент | Тарифная ставка, в рублях |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------|
| Условное обозначение | n | p | K _т | Ст |
| Слесарь - наладчик | 2 | 4 | 1,142 | 26,14 |
| Кладовщик | 1 | 2 | 1,04 | 23,80 |
| Уборщик | 1 | 1 | 1,00 | 22,89 |
| ИТОГО | 4 | 2,75 | 1,08 | 24,72 |

$$K_{т\ 2p} = 3846 \cdot 1,04 / 168 = 23,80.$$

$$K_{т\ 1p} = 3846 \cdot 1 / 168 = 22,89.$$

Средний разряд $P_{ср}$, определяется по формуле

$$P_{ср} = \sum (n_i \cdot P_i) / \sum n, \quad (80)$$

где n_i – численность вспомогательных рабочих с данным разрядом;

P_i – разряд данных рабочих.

$$P_{ср} = (2 \cdot 4) + (1 \cdot 2) + (1 \cdot 1) / 4 = 2,75.$$

Средний тарифный коэффициент определяется аналогично среднему разряду, заменяется разряд на тарифный коэффициент.

$$K_{т.ср} = (2 \cdot 1,142) + (1 \cdot 1,04) + (1 \cdot 1) / 4 = 1,08.$$

Определяем среднюю тарифную ставку за час работ $Ст\ ср$, в рублях по формуле

$$Ст\ ср = Ст_{1р} \cdot K_{т\ ср}, \quad (81)$$

где $Ст_{1р}$ – ставка часовая первого разряд, в рублях;

$K_{т\ ср}$ – средний тарифный коэффициент.

$$Ст\ ср = 22,89 \cdot 1,08 = 24,72.$$

Определяем заработную плату вспомогательных рабочих по тарифу $З_{тар}$, в рублях

$$З_{тар} = Ст\ ср \cdot F_n \cdot \sum n, \quad (82)$$

где F_n – полезный годовой фонд времени работы вспомогательного рабочего, в часах;

$\sum n$ – общая численность вспомогательных рабочих.

$$З_{тар} = 24,72 \cdot 1784 \cdot 4 = 176402.$$

Расчет фонда заработной платы и средней месячной заработной платы сводится в таблицу 4.16.

Таблица 4.16 – Заработная плата вспомогательных рабочих, в рублях

| Численность рабочих | Полезный фонд времени | Годовой фонд заработной платы | | | | | Средне месячная заработная плата |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------|---------------------------------|-------------------------|-------|---|
| | | Тарифная заработная плата | Премия | Основная заработная плата | Заработная плата доп | | |
| | | | | | % | сумма | |
| 4 | 1784 | 176402 | 30 | 263721 | 10 | 26372 | 6044 |

4.4.2.1.7 Расчет фонда оплаты инженерно - технических работников

Общий фонд заработной платы ИТР определяется исходя из установленных окладов и планируемой премии. Расчет сводится в таблицу 4.17.

Таблица 4.17 – Заработная плата инженерно - технических работников, в рублях

| Занимаемая должность | Численность | Оклад за месяц | Месячный фонд заработной платы | | | | | Годовой фонд |
|-------------------------|-------------|-------------------|--------------------------------|-------|---------|-------|---------------------|-----------------|
| | | | Премия | | Поясная | | Заработная плата | |
| | | | % | Сумма | % | Сумма | | |
| Начальник участка | 1 | 9318 | | 2795 | | 1817 | 13930 | 167160 |
| Мастер | 1 | 7177 | 30 | 2153 | 15 | 1400 | 10738 | 128760 |
| Технолог | 2 | 8623 | | 2587 | | 1682 | 12892 | 309408 |
| Итого | 4 | | | | | | | 605328 |

Оклад устанавливается исходя из разряда, соответствующего должности.

$$\text{Окл.12р} = 3846 \cdot 2,423 = 9318 \text{ руб.}$$

$$\text{Окл.11р} = 3846 \cdot 2,242 = 8623 \text{ руб.}$$

$$\text{Окл.9р} = 3846 \cdot 1,866 = 7177 \text{ руб.}$$

Премия определяется в % от оклада (30%).

$$\text{Пр.12р} = 9318 \cdot 30 / 100 = 2795 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр.11р} = 8623 \cdot 30 / 100 = 2587 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр.9р} = 7177 \cdot 30 / 100 = 2153 \text{ руб.}$$

Заработная плата за месяц включает: оклад, премию, поясную надбавку.

$$\text{Поясн.12р} = 12113 \cdot 15 / 100 = 1817 \text{ руб.}$$

$$\text{Поясн.11р} = 11210 \cdot 15 / 100 = 1682 \text{ руб.}$$

$$\text{Поясн.9р} = 9330 \cdot 15 / 100 = 1400 \text{ руб.}$$

$$\text{Зпл.м.12р} = 9318 + 2795 + 1817 = 13930 \text{ руб.}$$

$$\text{Зпл.м.11р} = 8623 + 2587 + 1682 = 12892 \text{ руб.}$$

$$\text{Зпл.м.9р} = 7177 + 2153 + 1400 = 10730 \text{ руб.}$$

Годовой фонд определяется по каждой должности путем умножения месячной заработной платы на численность и число месяцев в году.

$$\text{Год.ф.12р} = 13930 \cdot 1 \cdot 12 = 167160 \text{ руб.}$$

$$\text{Год.ф.11р} = 12892 \cdot 2 \cdot 12 = 309408 \text{ руб.}$$

$$\text{Год.ф.9р} = 10730 \cdot 1 \cdot 12 = 128760 \text{ руб.}$$

Средняя заработная плата определяется аналогично формуле (79).

$$\text{Зср.м.} = 605328 / 4 \cdot 12 = 12611 \text{ руб.}$$

4.4.2.2 Расчет себестоимости и цены

Себестоимость изделия учитывает все статьи затрат и затраты на выпуск. Калькуляция на изделие приведена в таблице 4.18.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 69 |

Таблица 4.18 – Калькуляция на изделие, в рублях

| Наименование статей затрат | Изделие | Годовой выпуск |
|--|---------|----------------|
| Основные материалы | 1572,8 | 15728000 |
| Основная заработная плата | 58,31 | 583170 |
| Дополнительная заработная плата | 5,83 | 58317 |
| Отчисления на соц нужды, 26% от общ. з/п | 15,16 | 151624,2 |
| РЭСО, 127% от осн. з/п | 74,06 | 740625,9 |
| Цеховые расходы, 131% от осн з/п | 76,39 | 763952,7 |
| Итого цеховая себестоимость | 1802,56 | 18025689,8 |
| Общехозяйственные расходы, 161% от осн. з/п | 93,99 | 939903,7 |
| Потери от брака, 1% от осн з/п | 0,583 | 5831,7 |
| Итого производственная себестоимость | 1897,14 | 18971425,3 |
| Внепроизводственные расходы, 5% от пр. сбест | 94,85 | 948571,27 |
| Итого полная себестоимость | 1991,99 | 19919996,57 |
| Размер прибыли, % | 30 | 30 |
| Прибыль | 597,59 | 5975998,97 |
| Проект оптовой цены | 2589,59 | 25895995,54 |

4.4.2.3 Расчет оценочных показателей деятельности участка

Основные технико-экономические показатели проектируемого участка представлены в таблице 4.19.

Фондовооруженность $\Phi_{воор}$, в рублях рассчитывается по формуле

$$\Phi_{воор} = \text{ОПФ} / R, \quad (83)$$

где ОПФ – среднегодовая стоимость основных производственных фондов, рублей;

R – численность работников, человек.

$$\Phi_{воор} = 177170 / 18 = 9843.$$

Фондоотдача Φ_o , в рублях определяется по формуле

$$\Phi_o = Q / \text{ОПФ}, \quad (84)$$

где Q – объем произведенной продукции, в денежном выражении.

$$\Phi_0 = 25895995/177170 = 146,2.$$

Уровень рентабельности изделия Ризд, в %, определяется по формуле

$$Ризд = (Пизд/С-сть изд) \cdot 100\%, \quad (85)$$

где Пизд – прибыль, рублей;

С-сть изд – полная себестоимость продукции, рублей.

$$Ризд = (5975998,97/19919996,57) \cdot 100\% = 30.$$

Таблица 4.19 – Основные показатели участка

| Показатели | Единицы измерения | Значения |
|--|-------------------|----------|
| 1 Годовой выпуск продукции | | |
| а) в натуральном выражении | шт. | 10000 |
| б) по оптовой цене | руб. | 25895995 |
| 2 Общая стоимость оборудования | руб. | 177170 |
| 3 Численность работающих | чел. | 18 |
| а) основные рабочие | чел. | 10 |
| б) вспомогательные рабочие | чел. | 4 |
| в) И.Т.Р. | чел. | 4 |
| 4 Выпуск продукции на одного работающего | руб. | 1438666 |
| 5 Выпуск продукции на одного рабочего | руб. | 1849714 |
| 6 Фонд заработной платы, всего | руб. | 1478591 |
| а) основных рабочих | руб. | 583170 |
| б) вспомогательных рабочих | руб. | 290093 |
| в) И.Т.Р. | руб. | 605328 |
| 7 Среднемесячная заработная плата одного работающего | руб. | 6845 |
| в т.ч. рабочего | руб. | 5463 |
| 8 Фондовооруженность | руб. | 9843 |
| 9 Фондоотдача | руб. | 146,2 |
| 10 Уровень рентабельности изделия | % | 30 |

5 Мероприятия по охране труда, технике безопасности и охране окружающей среды

5.1 Опасности и вредности при сборке и монтаже радиоэлектронной аппаратуры

На протяжении всего производственного цикла по изготовлению УМЗЧ без ООС, на персонал предприятия воздействует множество вредных, а зачастую опасных факторов. От того, как организован на предприятии контроль этих факторов, зависит производительность труда, качество выпускаемой продукции и самое главное – безопасность работников. При надлежащем подходе к данной проблеме можно в значительной степени подавить влияние вредных факторов на сотрудников предприятия или устранить их полностью.

Наиболее вероятные факторы, воздействующие на безопасность сотрудников занятых на производстве УМЗЧ без ООС следующие: освещение рабочего места; воздух рабочей зоны; тепловые и химические поражения кожи; шумы и вибрации; производственные вредности; опасность поражения электрическим током.

5.1.1 Освещение рабочего места

Из общего объема информации человек получает через зрительный канал около 80 %. Качество поступающей информации во многом зависит от освещения: неудовлетворительное количественно или качественно оно не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерациональное освещение может, кроме того, явиться причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие источники света и блики от них, резкие тени ухудшают видимость настолько, что вызывают полную потерю ориентировки работающих. При неудовлетворительном освещении, кроме того, снижается производительность труда и увеличивается брак продукции. Вместе с тем исследования показывают, что правильное освещение рабочей зоны повышает производительность труда в среднем на 15%.

Освещение принято делить на три вида: естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе).

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Оно может быть боковым, если осуществляется через световые проемы в

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист 72 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

наружных стенах, и верхним – через фонари, световые проемы в покрытии, а также через проемы в стенах в местах перепада высот здания. Комбинированное естественное освещение – сочетание верхнего и бокового естественного освещения.

Естественное освещение положительно влияет не только на зрение, но также тонизирует организм человека в целом и оказывает благоприятное психологическое воздействие. В связи с этим все помещения в соответствии с санитарными нормами и правилами должны иметь естественное освещение.

Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемнопланировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированные значения естественного освещения. Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, называется совмещенным освещением.

5.1.2 Воздух рабочей зоны

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, выраженная в градусах Цельсия; относительная влажность воздуха - в процентах; скорость его движения – в метрах в секунду; интенсивность радиации, преимущественно в инфракрасной и частично в ультрафиолетовой областях спектра электромагнитных излучений – в джоулях на квадратный сантиметр в минуту. Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия.

При осуществлении любого производственного процесса, как правило, всегда выделяется теплота. Касательно производства проектируемого усилителя источниками тепла, прежде всего, является оборудование для пайки. В теплое время года добавляется еще и теплота солнечного излучения.

Передача теплоты от нагретых поверхностей и предметов происходит различными путями, поэтому теплота, выделяемая в производственных помещениях, оказывает неодинаковое влияние на температуру воздуха в рабочей зоне и на самочувствие

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 73 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | |

работающих.

Другим важным параметром микроклимата является влажность воздуха. Относительная влажность представляет собой отношение упругости водяного пара, содержащегося в воздухе, к упругости насыщенного пара при той же температуре и выражается в процентах. Влажность влияет на общее состояние человека, затрудняя или облегчая теплообмен между организмом и окружающей средой (при большой влажности воздуха теплоотдача путем испарения влаги с поверхности тела уменьшается, что может привести к перегреванию организма, тепловому удару).

В понятие микроклимат производственных помещений входит также скорость движения воздуха. Влияние этого фактора на организм человека может иметь положительную и отрицательную стороны: небольшие скорости движения воздуха способствуют испарению влаги с поверхности тела, улучшая теплообмен между организмом и окружающей средой, а при движении воздуха с большими скоростями возникают сквозняки, приводящие к увеличению числа простудных заболеваний среди работающих.

5.1.3 Тепловые и химические поражения кожи

При производстве РЭА во многих операциях предусматривается использование различных химических веществ. Многие из них могут оказывать разрушающее воздействие на биологические объекты. Большинство опасных химикатов применяется при производстве печатной платы и монтаже на нее электрорадиоэлементов. В большинстве случаев это различные травители, органические и неорганические растворители, флюсы, лаки и т.д. Попадание на кожу этих веществ может вызвать химический ожог. Кроме того, вдыхание паров перечисленных веществ может вызвать как общее отравление организма, так и ожоги верхних дыхательных путей.

Помимо химических поражений кожи на производстве РЭА работники подвергаются опасности теплового поражения. Невнимательность или неправильная эксплуатация оборудования имеющего нагретые части и поверхности может привести к тепловому ожогу. Без операции пайки в настоящее время не обходится почти не одно радиоэлектронное производство. Поэтому паяльное оборудование и расплавленный припой – основные источники опасности тепловых поражений.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 74 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

5.1.4 Производственные вредности

Многие производственные процессы сопровождаются значительным выделением пыли. Пыли – это тонкодисперсные частицы, которые образуются при различных производственных процессах – дроблении, размалывании и обработке твердых тел (сверление, резание, распиливание), при просеивании и транспортировке сыпучих материалов и т. п. Пыли, взвешенные в воздухе, называются аэрозолями, скопления осевших пылей – аэрогелями. Проникая в организм при дыхании, при заглатывании и через поры кожи, пыли могут вызывать профессиональные заболевания.

Промышленная пыль бывает органическая (древесная, торфяная, угольная) и неорганическая (металлическая, минеральная). По степени токсичности пыли делятся на: ядовитые и неядовитые.

Ядовитые пыли, растворяясь в биологических средах организма, вызывают отравления. Например, свинец, который входит в состав припоя, проникая в организм в виде пыли вместе с вдыхаемым воздухом, вызывает поражения нервной системы, органов кроветворения, желудочно-кишечного тракта.

Неядовитые пыли, воздействуя на организм, раздражают кожу, слизистые оболочки, конъюнктиву глаз, а, проникая в легкие, вызывают профессиональные заболевания – пневмокониозы, в основе которых лежат органические изменения в легких и снижение их функциональной способности, что приводит к кислородному голоданию всего организма.

Вредность воздействия зависит от количества вдыхаемой пыли, степени ее дисперсности, формы пылинок, их электрического заряда, от химического состава и растворимости. Аэрозоли образуются при дроблении твердого вещества и в значительной мере состоят из пылинок больших размеров неправильной формы (в виде обломков), а также из паров металлов, которые при охлаждении превращаются в твердые частицы значительно меньших размеров, чем при образовании аэрозолей дезинтеграции. Нетоксичные пыли, кроме того, могут адсорбировать ядовитые или радиоактивные вещества, приобретать электрический заряд, что увеличивает их вредное действие.

5.1.5 Шумы и вибрации

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 75 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | |

Источники производственного шума и вибраций – различные машины и механизмы, вентиляционные установки, электрические машины и трансформаторы, пневмо- и электроинструменты и др.

В результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрации ухудшают условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм происходят нежелательные явления: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, снижается внимание. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечнососудистой и нервной систем.

Вибрации также неблагоприятно воздействуют на организм человека, они могут быть причиной функциональных расстройств нервной и сердечно-сосудистой систем, а также опорно-двигательного аппарата. При действии вибраций на руки наблюдается их онемение. Длительное воздействие вибраций приводит к развитию вибрационной болезни, успешное лечение которой возможно только на ранней стадии ее развития.

5.1.6 Опасность поражения электрическим током

Опасность электрического тока в отличие от прочих опасностей усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно, как, например, движущиеся части, раскаленные объекты, открытые люки, неогражденные края площадки, находящейся на высоте, и т. п. Опасность обнаруживается слишком поздно – когда человек уже поражен.

Большая часть смертельных электропоражений (до 80 %) наблюдается в электроустановках напряжением до 1000 В.

Особенность электротравматизма заключается в том, что поражения электрическим током дают смертельный исход чаще, чем другие несчастные случаи, а также в том, что случай, закончившийся сравнительно благополучно, может отразиться на здоровье пострадавшего в дальнейшем.

Защитные меры должны вполне обеспечивать безопасность, но требования к ним должны быть разумными, без "перестраховки". Чтобы определить эти требования, надо ознакомиться с действием электрического тока на организм человека, определить допустимые значения тока через человека и приложенного напряжения, а также их

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 76 |

зависимость от параметров электроустановки - рода тока, напряжения, частоты и т.п.

Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов, так и общее поражение организма.

Электрический удар наблюдается при воздействии малых токов – обычно до нескольких сотен миллиампер и соответственно при небольших напряжениях как правило до 1000 В. При такой малой мощности выделение теплоты ничтожно и не вызывает ожога. Ток действует на нервную систему и на мышцы, причем может возникнуть паралич пораженных органов. Паралич дыхательных мышц, а также мышц сердца может привести к смертельному исходу.

Небольшие токи вызывают лишь неприятные ощущения. Если ток имеет значение, достаточное, чтобы парализовать мышцы рук, человек неспособен самостоятельно освободиться от тока, таким образом, действие тока будет длительным.

Ток в несколько десятков миллиампер при длительном воздействии (более 20 с) приводит к остановке дыхания. Но наиболее опасны остановка и фибрилляция сердца.

Остановка сердца вызывается током в несколько сотен миллиампер при сравнительно малой длительности воздействия (доли секунды), причем мышцы сердца расслабляются и остаются в таком состоянии. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Сердце затрачивает значительную энергию, но не производит полезной работы, кровообращение прекращается, сердце истощается и останавливается.

Как при остановке, так и при фибрилляции сердца работа его самостоятельно не восстанавливается. Необходимо оказание помощи.

Следует отметить, что большие токи (порядка нескольких ампер) не вызывают ни остановки, ни фибрилляции сердца. Сердечные мышцы под действием тока обычно резко сокращаются и остаются в таком состоянии до отключения тока, после чего сердце продолжает работать. Более того, если через сердце пострадавшего, у которого наблюдается паралич или фибрилляция сердца, пропустить ток приблизительно 4–6 А, мышцы сердца сокращаются и после отключения тока сердце продолжает работать.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 77 |

Таким образом, наблюдается прямая зависимость между током через человека и опасностью поражения; при токах более 1 А эта зависимость меняет характер, но остается прямой.

За наиболее критичный фактор следует брать опасность поражения электрическим током, так как практически все современное оборудование работает от электрического тока. На рабочем месте сборщика УМЗЧ присутствует много электроизмерительного оборудования, которое также питается от сети переменного тока.

5.2 Мероприятия по защите работника от опасностей и вредностей при сборке и монтаже радиоэлектронной аппаратуры

5.2.1 Защита от поражения электрическим током

Семь защитных мер электробезопасности. Защитные средства.

Для защиты от поражения электрическим током при замыканиях на корпус применяются меры, которые принято называть защитными мерами электробезопасности. Всего их восемь: 1) заземление, 2) зануление, 3) выравнивание потенциалов, 4) малые напряжения, 5) изоляция, 6) защитное отключение, 7) разделяющие трансформаторы, 8) ограждения.

Рассмотрим каждую из мер более подробно.

Заземление – одна из основных и старейших защитных мер. При этой защитной мере все металлические корпуса электроприемников, металлические конструкции и т.п., которые могут оказаться под опасным напряжением, должны быть заземлены, т.е. преднамеренно соединены с землей.

Назначение защитного заземления заключается в том, чтобы создать между корпусом защищаемого устройства и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением для того, чтобы в случае замыкания на корпус этого устройства прикосновение к этому корпусу человека (параллельное присоединение) не могло вызвать прохождение через его тело тока такой величины, которая угрожала бы жизни или здоровью.

Соединение заземляемых частей электроустановки с землей осуществляется при помощи заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлители – это металлические проводники-электроды – уголки, стержни,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 78 |

полосы, некондиционные трубы, располагаемые в земле в определенном количестве и порядке. Заземляющие проводники соединяют заземляемые части электроустановок с заземлителями. В целом заземляющие проводники и заземлители образуют заземляющее устройство.

В электрических установках имеются и другие заземления, которые необходимы по условиям эксплуатации, например заземления разрядников, заземления одного полюса в тяговых сетях и др. В отличие от защитных они называются рабочими заземлениями.

Малыми напряжениями считаются 42 (36) и 12 В. Эти напряжения применяются для переносных электроприемников, местного и ремонтного освещения и т.п. Напряжения 12 В применяется в особо опасных условиях – при работе внутри металлических резервуаров, котлов, на металлоконструкциях и т.п. Вторичная обмотка трансформаторов напряжением 42 (36) и 12 В в соответствии с требованиями ПУЭ (правила устройства электроустановок) заземляется. Это делается для обеспечения безопасности в случае повреждения изоляции трансформатора с переходом напряжения сети на сторону 42 или 12 В.

Малые напряжения могут применяться только при небольшой мощности электроприемников, так как с ростом мощности возрастают токи, в связи с чем при малых напряжениях потребовались бы крупные сечения проводов, т.е. утяжеления и удорожание электроприемников и сетей.

Изоляция от земли служит для обеспечения безопасности, например при использовании изолирующих от земли площадок при ремонтных работах и обслуживании оборудования, корпуса которого или токоведущие части находятся под напряжением.

Все чаще применяется двойная изоляция. Существо этой защиты заключается в следующем. Каждый электроприемник имеет основную изоляцию токоведущих частей от его корпуса, соответствующую его назначению и конструкции, а для обеспечения безопасности кроме основной применяется дополнительная изоляция корпуса и других металлических частей, которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

При двойной изоляции электроприемника заземление или зануление металлических частей запрещается во избежание шунтирования дополнительной

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 79 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

изоляции. Состояние изоляции должно периодически проверяться.

Как показывает статистика, многие случаи поражения электрически током происходят вследствие прикосновения к частям, находящимся под напряжением. Снижения травматизма по этой причине можно достигнуть с помощью надежных ограждений. К этой защитной мере относятся: выполнение аппаратов и приборов в закрытых корпусах, применение закрытых комплектных устройств, надежные ограждения и т.п. Во многих случаях они снабжаются блокировками, не допускающими снятия корпусов или ограждений, если предварительно не отключено напряжение.

К сожалению, бывают все же случаи, когда обслуживающий персонал нарушает блокировки, не ставит на место снятые ограждения.

В дополнение к защитным мерам обеспечению электробезопасности способствуют защитные средства. Защитными средствами называют приборы, аппараты, приспособления и устройства, в основном переносные, предназначенные наряду с защитными мерами для защиты персонала, обслуживающего электроустановки, от поражения электрическим током.

Все металлические корпуса и конструкции связываются электрически с заземленной нейтралью трансформатора через нулевой провод или специальный защитный проводник. Благодаря этому всякое замыкание на корпус превращается в короткое замыкание и аварийный участок отключается предохранителем или автоматом.

Очевидно, зануление должно быть выполнено так, чтобы ток короткого замыкания в аварийном участке имел величину достаточную для расплавления плавкой вставки ближайшего предохранителя или отключения ближайшего автомата. Для этого сопротивление цепи короткого замыкания должно быть достаточно малым.

Известно, что чем быстрее при однофазных замыканиях будет отключен аварийный участок сети, тем меньше опасность поражения. Известно также, что многие случаи поражения электрическим током происходят при прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Эти проблемы успешно решает система защитного отключения.

Защитным отключением называется мера, обеспечивающая безопасность путем быстросрабатывающего (время действия 0,1—0,2 с и ниже) отключения аварийного участка

| | | | | | |
|-----|------|---------|-------|--------------------------|------|
| | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | 80 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | | Дата |

или сети в целом при возникновении замыкания на корпус или непосредственно на землю, а также при прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Благодаря высокой чувствительности (многие устройства защитного отключения имеют токи срабатывания 10—30 мА) устройства защитного отключения реагируют на снижение сопротивления и изоляции, когда токи утечки достигают уровня токов срабатывания, т.е. одновременно осуществляют контроль изоляции. Эта защитная мера все чаще применяется в сетях напряжением до 1000 В благодаря существенным преимуществам перед обычными системами заземления или зануления. Она особенно необходима в условиях, неблагоприятных с точки зрения возможности поражения электрическим током, например при пользовании переносным или передвижным электрооборудованием.

Применение разделяющих трансформаторов имеет целью изолировать электроприемники от первичной сети, а также от сети заземления или зануления, и тем самым от возможных аварийных состояний первичной сети – повреждений изоляции, однофазных и двойных замыканий на землю, утечек, емкости, т.е. условий, вызывающих повышенную опасность.

Разделяющие трансформаторы могут применяться не только с одновременным понижением напряжения, а как чисто разделяющие, например 220/220 В и т.п.

Вторичное напряжение разделяющих трансформаторов должно быть все же не выше 380 В.

Применения разделяющих трансформаторов дает существенное улучшение условий безопасности по сравнению с питанием непосредственно от сети или через понижающие трансформаторы с заземлением вторичных обмоток.

Как и в других случаях, необходимо периодически и достаточно часто проверять изоляцию трансформаторов, электроприемников и проводов вторичной сети, чтобы исключить однофазные и двойные замыкания.

5.2.2 Обеспечение рационального освещения на участке сборки и монтажа

Рациональное искусственное освещение предусматривает равномерную освещенность, без резких изменений и пульсаций, благоприятный спектральный состав света и достаточную яркость. Поэтому для рационального освещения помещений необходимо использовать комбинирование освещения.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист 81 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | |

Для искусственного электрического освещения применяются лампы люминесцентные. Люминесцентные лампы обеспечивают высокое качество и имитируют естественное освещение. Они экономичны по расходу электроэнергии, световой отдаче и сроку службы.

Для освещения помещений электрические лампы помещают в специальную арматуру различных типов. Арматура направляет светопоток, получаемый от электрических ламп, с наименьшими потерями, а также защищает глаз работника от ослепляющей яркости, а в некоторых случаях – изменяет спектральный состав источника света. Арматуру вместе с лампой принято называть светильником.

Важное значение имеет правильная организация эксплуатации осветительных устройств, которая предусматривает систематическую очистку окон, световых фонарей и светильников от загрязнения, своевременную замену перегоревших ламп в светильниках, текущий и профилактический ремонт оборудования, соблюдение общих санитарных правил в помещениях и на территории, прилегающей к зданиям, регулярную пробелку и окраску стен и потолков помещений в светлые тона.

В процессе эксплуатации осветительных установок необходимо следить за поддержанием постоянного напряжения и устранять причины, вызывающие потери или колебания напряжения. Контрольные измерения освещенности должны проводиться не реже одного раза в три месяца.

Необходимо строго следить за защитой глаз от слепящего действия источником света, не допускать снятия с осветительных приборов защитных стекол и рефлекторов, уменьшения высот подвеса светильников. Обслуживание и ремонт осветительных установок должен производить квалифицированный персонал.

Освещенность и эксплуатация осветительных систем контролируется на предприятиях ведомственными органами надзора.

Помимо качественного освещения также рекомендуется обратить внимание на цветовое оформление интерьера и оборудования, так как замечено что цвета в значительной мере могут влиять на утомляемость и работоспособность работника. Для этого следует руководствоваться данными ГОСТ 26568-85* и ГОСТ 12.4.026-76* ССБТ.

5.2.3 Защита работника от воздействия шума и вибраций

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 82 |

В условиях производства для защиты работника от вибраций применяют следующие методы: снижение виброактивности машин; отстройка от резонансных частот; вибродемпфирование; виброизоляция; виброгашение; индивидуальные средства защиты.

Снижение виброактивности машин достигается изменением технологического процесса, а также применением машин с такими кинематическими схемами при которых динамические процессы вызывающие ударения и ускорения были бы искажены или предельно снижены.

Отстройка от резонансных частот заключается в изменении режимов работы машин и частоты возникающей вибрации; собственной частоты колебаний машины путем изменения жесткости или массы системы.

Вибродемпфирование – метод снижения вибрации путем усиления в конструкции процессов трения, рассеивающих колеблющую энергию в результат необратимого преобразования ее в теплоту при деформациях возникающих в материалах из которых изготовлена конструкция. Данный метод реализуется нанесением на вибрирующие поверхности слоя из материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение и установкой специальных демпферов.

Виброизоляция заключается в уменьшении подачи колебаний от источника к защищаемому объекту при помощи устройств помещаемых между ними. Для этого используют упругие прокладки, пружины или их комбинации.

К средствам индивидуальной защиты относят: виброизолирующие рукавицы, перчатки, прокладки, вкладыши, специальная обувь, стельки, подметки.

В целях защиты от шума используют следующие методы: снижение звуковой мощности источника шума; размещение источника шума относительно рабочих мест и зон с учетом направленности звуковой энергии; акустическая обработка помещения; звукоизоляция; применение глушителей шума; применение средств индивидуальной защиты.

При установке направленных источников шума обязательно следует учитывать их направленность. Величина эффекта изменения направленности может достигать 10-15 дБ.

| | | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|--|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | | 83 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | | |

Акустическая обработка помещений – мероприятия по снижению интенсивности отражения от поверхностей помещения звуковых волн. Для этого может быть применена звукопоглощающая облицовка и объемные поглотители различных конструкций.

Снижение шума до допустимых значений достигается за счет звукоизоляции – уменьшения интенсивности прямого звука путем установки ограждений, кабин, кожухов, экранов.

Глушители применяют для снижения аэродинамического шума. Их делят на: абсорбционные – применяют как облицовку поверхности воздуховодов звукоизолирующими материалами; реактивные; комбинированные.

К средствам индивидуальной защиты относят вкладыши, наушники и шлемы. Эффективность таких средств от 5 до 120 дБ.

5.2.4 Защита работника от производственных вредностей

Вентиляция цехов и рабочих участков не должна допускать загрязнения воздуха газами, парами, пылью выше допустимых концентраций. На участке сборки и монтажа осуществляется приточно-вытяжная местная вентиляция непосредственно от мест выделения газов, паров, пыли. При неисправном состоянии вентиляции работа должна быть прекращена.

Для местного отсоса от мест пайки применены опрокинутые бортовые отсосы. У столов для протирки печатных плат органическими растворителями установлены односторонние бортовые отсосы с щелью по длине стола со стороны, противоположной рабочему месту.

Промывка деталей органическими растворителями производится в специально оборудованных устройствах с крышками и вытяжными вентиляционными установками. Рабочие, занятые на промывке печатных плат, инструктируются о токсичных свойствах применяемых растворителей и о пожарной безопасности. Хранение растворителей в помещении для промывки допускается в количестве не более суточной потребности и в герметически закрытой таре. Во избежание образования ядовитого и самовоспламеняющегося многохлорэтилена соприкосновение трихлорэтилена с крепкими щелочами и минеральными кислотами не допускается. В помещениях для промывки применение печного отопления или отопления газовыми или электрическими приборами,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | 84 |

а также применение открытого огня не допускается.

5.3 Мероприятия по защите окружающей среды от продуктов деятельности предприятия

В современном обществе резко возрастает роль промышленной экологии, призванной на основе оценки вреда приносимого природе индустриализацией разрабатывать и совершенствовать технические средства защиты окружающей среды, всемирно развивать создания замкнутых, безотходных и малоотходных технологических циклов и производств, обеспечивать высокие экологические показатели технологии, машин и материалов, как на стадии промышленной эксплуатации, так и при проектировании, оценивать влияние промышленного объекта на окружающую среду и контролировать ее состояние, контролировать промышленные выбросы, проводить экологическую экспертизу.

Любое производство подразумевает использование некоторого набора ресурсов и как результат их преобразования, появление побочных продуктов. Они не несут какой-либо пользы предприятию, а напротив наносят вред окружающей среде. В числе таких факторов касательно производства РЭА можно выделить основные и наиболее значимые: вентиляционные выбросы (газовые, паровые и тонкодисперсные), жидкостные загрязнения в виде сточных вод, энергетические выбросы (шумы, излучения, вибрации), загрязнения твердыми отходами производства.

Для снижения вредности или полного устранения данных производственных факторов в промышленной экологии существует инженерно-техническое направление. Это направление ставит перед производственно-экологической безопасностью задачи неуклонного повышения эффективности инженерно-технических мер по охране природы: широким внедрением безотходных и малоотходных технологий, комбинированных производств, обеспечивающих комплексное использование природных ресурсов, сырья и материалов.

В России разработаны и серийно выпускаются аппараты и устройства для очистки воздуха, газовых выбросов и сточных вод от примесей, которые применяют на промышленных предприятиях для улучшения санитарного состояния атмосферы и водоемов. Защита от энергетических выбросов основана на применении защитных

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | | 85 |

экранов, глушителей шума, виброизоляции и других устройств.

Однако в промышленности нерешенными проблемами пока остаются эффективность очистки от технологических и вентиляционных выбросов, от газовых, паровых и тонкодисперсных примесей. При производстве РЭА основная задача – очистка вентиляционных выбросов от паров свинца, органических растворителей и других вредных химических соединений. Накопление свинца в организме человека может вызывать серьезные поражения внутренних органов и образования злокачественного характера. Установки промышленной очистки воздуха от паровых и тонкодисперсных составляющих слишком дороги и сложны в изготовлении. Поэтому одним из разумных решений является применение безсвинцовых припоев. Защита атмосферы от вредных веществ осуществляется очисткой вентиляционных выбросов и рассеяния остаточных загрязнений. Очищаемые концентрации вредных веществ в приземном слое и величина предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу рассчитывается в соответствии с ГОСТ 172.3.02-78 и требованиями, изложенными в «Указаниях по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ в выбросах предприятий» СН 369-74. Загрязненный воздух должен выбрасываться в атмосферу не менее чем на 2 метра выше наиболее высокой части крыши и не должен попадать в здания, расположенные вблизи цеха. При низких выбросах наибольшая концентрация будет на территории предприятия.

Если количество вентиляционных выбросов превышает предельно допустимый выброс, обеспечивающий предельно допустимую концентрацию веществ в приземном слое, то перед выбросом в атмосферу воздух должен подвергаться очистке. Для очистки вентиляционного воздуха должны быть применены волокнистые фильтры ФВТ-Т, адсорбционно-фильтрующие аппараты.

Сточные воды в радиоэлектронной промышленности, как правило, являются отходами цехов гальваники и электролиза, а также образуются при очистке и промывке различных деталей и узлов РЭА. Они могут содержать в себе в растворенном или взвешенном виде: органические соединения (смазочные составы, растворители), моющие средства (мыло, поверхностно активные вещества), всевозможные неорганические соединения (соли, гидроксиды, кислоты). Большинство этих компонентов являются токсичными и в обычных условиях разрушаются крайне медленно, поэтому подлежат

| | | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--------------------------|--|------|
| | | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | | 86 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | | |

обязательной нейтрализации. Очистка сточных вод сводится к нескольким последовательным операциям (их порядок и наличие в основном зависит от уровня токсичности жидкости, ее свойств, фрикционного состава и концентрации): механическая очистка (процеживание, отстаивание, отделения в поле действия центробежных сил, фильтрование), физико-химическая очистка (сводится к снижению уровня токсичности ниже установленных норм). При производстве РЭА наиболее часто приходится сталкиваться с токсичными химическими соединениями, поэтому особое внимание следует обращать на физико-химические методы очистки отходов. Отработанные смазочные жидкости необходимо собирать в специальные емкости. Водную и масляную фазу можно использовать в качестве компонентов для приготовления эмульсий. Масляная фаза может поступать на регенерацию или сжигаться. Концентрация нефтепродуктов в сточных водах при сбросе их в канализацию должна соответствовать требованиям СН П II-32-74. Водную фазу очищают до предельно допустимой концентрации или разбавляют до допустимого содержания нефтепродуктов и сливают в канализацию.

Исследования показывают, что достаточно большая часть ценных материалов теряется в процессе производства и утилизируется вместе с отходами. Сейчас активно идет разработка технологий восстановления ценных и редких материалов из использованного сырья (как правило, это жидкостные отходы, вступившие в химические ре-акции).

Твердые отходы также в большинстве случаев могут быть переработаны и использованы в производстве.

| | | | | | |
|-----|------|---------|-------|--------------------------|------|
| | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | Лист |
| | | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | | Дата |

Заключение

В данном дипломном проекте разработан усилитель мощности звуковой частоты без общей обратной связи.

Прибор обеспечивает высококачественное усиление электрических сигналов в широком диапазоне частот. Он выполнен в виде моноблока размерами 140x190x65 мм³. Корпус собственного изготовления. Масса прибора не более 1200 г. На заднюю панель прибора выведены коммутационные устройства. Прибор предназначен для эксплуатации в условиях наземной стационарной аппаратуры в отапливаемых помещениях (бытовая аппаратура).

Усилитель имеет следующие технические характеристики:

- максимальная выходная мощность, Вт, на нагрузке 4 Ом = 110;
- максимальная выходная мощность, Вт, на нагрузке 8 Ом = 120;
- чувствительность, В = 0,7;
- полоса рабочих частот при неравномерности 3 дБ, Гц = 20—200000.

В технологической части была составлена схема сборки с базовой деталью, по которой составлен маршрутно-операционный технологический процесс сборки и монтажа печатного узла.

Так как устройство имеет в своем составе небольшое количество элементов, была выбрана (по ОСТ 4.10.022-85) односторонняя печатная плата третьего класса точности, изготавливаемая химическим методом без металлизации монтажных отверстий.

Выполнив расчет интенсивностей отказов элементов прибора, появилась возможность сделать вывод, что на надежность УМЗЧ без ООС более всего влияет полупроводниковые стабилитроны, т.к. интенсивность их отказов $0,54 \times 10^{-6}$ 1/час. Менее всего на надежность прибора влияют соединения пайкой, т.к. интенсивность отказов соединений $0,01 \times 10^{-6}$ 1/час. Интенсивность отказов самого УМЗЧ без ООС $16,07 \times 10^{-6}$ 1/час, а среднее время наработки на отказ $0,06 \times 10^6$ час.

Конструкторские решения выбирались в соответствии с современными требованиями к бытовой электронной аппаратуре. Результатом этого стал лаконичный корпус из штампованного алюминия. Прибор прост и безопасен в эксплуатации, легко

впишется в современный интерьер, имеет малый габариты и массу.

| | | | | | |
|--------------------------|------|---------|-------|------|------|
| ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | | | | Лист |
| | | | | | 88 |
| Изм | Лист | N докум | Подп. | Дата | |

По результатам технико-экономического расчета, себестоимость изготовления печатного узла УМЗЧ без ООС составила 1897,14 руб. Проект оптовой цены составил 2589,59 руб.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|--------------------------|--|------|
| | | | | ЭРДТ ДП. П-81. 08 000 ПЗ | | Лист |
| | | | | | | 89 |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата | | |

Литература

- 1 Аудио Магазин, №1, 2005.
- 2 Вересов Г.П.; Смуряков Ю.Л. Стабилизированные источники питания радиоаппаратуры. М: Энергия 1978 – 194 с.
- 3 Григорьев А. УМЗЧ без общей обратной связи. – Радио, 2007, №1, с. 17—21.
- 4 Грузинов В.П.; Грибов В.Д. Экономика предприятия М.: Финансы и статистика 1998 – 206 с.
- 5 Каталог ООО «ДАН», «Платан», 2004-2005 г.
- 6 Малинин Р.М. Справочник по транзисторным схемам. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1974 г., 184 с.
- 7 Нефедов И.А. Дипломное проектирование в машиностроительных техникумах. М.: Высшая школа 1986 г., 238 с.
- 8 Опадчий Ю.Ф.; Глудкин О.П.; Гуров А.И. – Аналоговая и цифровая электроника, М: «Горячая линия – Телеком» 2002 г., 768 с.
- 9 Павловский В.В. Проектирование технологических процессов изготовления РЭА., 1982г.
- 10 Партала О.Н. Радиокomпоненты и материалы: Справочник.—К.: Радюаматор, М.: КУБК-а, 1998.—720с.
- 11 Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник/ Под общ. Ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоатомиздат, 1985 г.
- 12 Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности : Справочник – 2-е изд., Под ред. А.В. Голомедова, М.: Радио и связь, КУБК-а, 1994 г., 640 с.
- 13 Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. /Парфенов Е.М. и др. – М.: Радио и связь, 1989 г. – 272 с.
- 14 Сергеев И.В. Экономика предприятия. М.: Финансы и статистика 1997-304 с.
- 15 Технология и автоматизация производства РЭА. Под ред. Достанко А.П., 1989 г.
- 16 Усатенко С.Т. и др. Графическое изображение электрорадиосхем. Справочник. – К.: Техника, 1986 г.
- 17 Электронные источники сети Интернет.

| | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум | Подп. | Дата |