тема диплома Автоматизированная система контроля скорости поезда метрополитена

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов ВКР	Сроки выполнения этапов ВКР	Примечание
	Введение	20.02-22.02	1-2 стр.
1.	Обзор систем автоматического управления поездами на метрополитене	22.02-10.03	5-10 стр.
	Чертеж 1 Схема рельсовой цепи с наложением сигналов АЛС-АРС и фильтром 225Гц	10.03-15.03	Формат А1
	Чертеж 2 Схема поясняющая принцип кодирования рельсовых цепей при системе АЛС-АРС	15.03-20.03	Формат А1
	Чертеж 3 Структурная схема ПА КСД	20.03-22.03	Формат А1
	Чертеж 4 Структурная схема ПА КСД-М	22.03-25.03	Формат А1
2.	Разработка технического задания	25.03-30.03	10-15 стр.
3.	Разработка структурной схемы	30.03-05.04	10-15 стр.
4.	Разработка принципиальной схемы и электрический расчет её узлов и блоков	05.04-10.04	10-15 стр.

№ п/п	Наименование этапов ВКР	Сроки выполнения этапов ВКР	Примечание
	Чертеж 5 Принципиальная схема платы СВУ	10.04-12.04	Формат А1
5.	Конструкторско-технологическая часть	12.04-15.04	15-25 стр.
	Чертеж 6 Сборочный чертеж стойки с блоками аппаратуры ПА КСД-М	15.04-20.04	Формат А1
	Чертеж 7 Печатная плата	20.04-25.04	Формат А1
	Чертеж 8 Плата СВУ	25.04-30.04	Формат А1
6.	Охрана труда	30.04-05.05	5-10 стр.
7.	Экономическая часть	05.05-10.05	5-10 стр.
8.	Заключение	10.05-15.05	1-2 стр.
9.	Библиографический список	15.05-20.05	1-2 стр.

Аннотация

В данном дипломном проекте выполнена модернизация платы согласования устройств (ПСУ) канала допустимой скорости аппаратуры комплексной системы движения (ПА КСД), установленной на вагонах метрополитена.

Разработана структурная схема платы согласования, принципиальная электрическая схема, произведен расчет отдельных элементов схемы.

В конструкторско-технологическом разделе разработана конструкция блока, рассмотрен технологический процесс сборки печатного узла и блока в целом. Произведен расчет надёжности блока.

Раздел, посвященный технике безопасности и охране труда, содержит материалы, дающие представление об условиях труда персонала, при обслуживании разработанной системы ПА КСД-М.

В технико-экономическом разделе обоснована целесообразность данной разработки применительно к получению годового технико-экономического эффекта.

Оглавление

Введение..... 9
1 Обзор систем автоматического управления поездами на метрополитене 11
1.1 Системы безопасности при движении поездов на Петербургском метрополитене..... 11
1.1.1 Система автоматической блокировки..... 11
1.1.2 Система автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости..... 12
1.2 Поездная аппаратура ПА КСД..... 17
1.3 Поездная аппаратура ПА КСД М..... 24
2 Разработка технического задания..... 27
2.1 Назначение платы согласования устройств поездной аппаратуры ПА КСД М..... 27
2.2 Технические требования..... 27
2.3Конструкторско – технологические требования..... 28
2.4 Эксплуатационные требования..... 29
3 Разработка структурной схемы..... 31
4 Разработка принципиальной схемы и электрический расчет её узлов и блоков..... 34
4.1 Выбор элементной базы..... 34
4.2 Расчет входного каскада..... 38
4.3 Расчет заграждающего (режекторного) фильтра на 50 Гц..... 40
4.4 Расчет заграждающего (режекторного) фильтра на 300 Гц..... 43
4.5 Расчет инвертирующего усилителя..... 44
4.6 Схема автоматической регулировки усиления (АРУ)..... 45
4.7 Схема выходного каскада частотного канала (ЧК)..... 48
4.8 Расчет мощности потребляемой схемой..... 49
5 Конструкторско-технологическая часть..... 50
5.1 Конструктивное исполнение стойки ПА КСД М..... 50
5.2 Конструирование и изготовление печатной платы..... 52
5.2.1 Требование к печатной плате..... 52
5.2.2 Конструкция печатной платы..... 53
5.2.3 Изготовление печатной платы..... 55
5.2.4 Расчёт надежности платы..... 58
6 Охрана труда..... 62
6.1 Охрана труда при изготовлении и производстве печатных плат..... 62
6.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов для персонала, занятого обслуживанием ПА КСД М..... 63
6.3 Напряженность трудового процесса..... 66
6.4 Расчет класса условий труда по показателям напряженности трудового процесса..... 67

6.5 Требование к персоналу, обслуживающему поездную аппаратуру……... 69
6.6 Расчет молниезащиты здания цеха..... 71
7 Экономическая часть…… 74
7.1 Предисловие……. 74
7.2 Расчет себестоимости. Определение оптовой цены…… 74
7.2.1 Сырьё и материалы…….. 75
7.2.2 Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперирующихся предприятий…….. 76
7.2.3 Основная заработная плата производственных рабочих……..... 79
7.2.4 Дополнительная заработная плата……..... 81
7.2.5 Отчисление на социальные нужды……..... 81
7.2.6 Цеховые расходы…….. 81
7.2.7 Общезаводские расходы…….. 82
7.2.8 Полная себестоимость……..... 82
7.2.9 Оптовая цена изделия…….. 83
7.3 Расчет эксплуатационных расходов……. 84
7.3.1 Стоимость обслуживания аппаратуры……... 84
7.3.2 Затраты на ремонт……..... 85
7.3.3 Стоимость потребления электроэнергии……... 86
7.3.4 Эксплуатационные расходы проектируемого устройства……..... 87
7.4 Расчет эффективности от внедрения……. 87
Заключение……... 89
Перечень принятых сокращений и условных обозначений……..... 90
Библиографический список…… 91

Введение

Метрополитен является городской железной дорогой, функционирующей по столь же четкой организационной структуре, как и железнодорожный транспорт. Обеспечение безопасности пассажиров, интенсивность движения и значительные скорости сообщения, насыщенность сложной техникой, высокий уровень обслуживания, определяют жесткие, по сравнению с другими видами городского транспорта, требования по организации эксплуатационной деятельности.

Устройства автоматики и телемеханики являются важным звеном в комплексе технических средств метрополитена, обеспечивающих перевозочный процесс. Их эксплуатационно-технические характеристики определяют безопасность движения поездов, пропускную способность линий.

Постоянно растущая потребность населения в перевозках обусловила поиск новых путей повышения эффективности работы метрополитена [1].

С развитием научно-технического прогресса, в частности такого направления как радиоэлектроника, упростило решение поставленных перед метрополитеном задач. Широкое применение радиоэлектронных устройств на метрополитене позволило автоматизировать технологические процессы, связанные как с организацией, так и с обеспечением безопасности движения поездов. Основным направлением в обеспечении безопасности при движении поездов является автоматизация процессов и исключение человеческого фактора при возникновении различных ситуаций.

В связи с развитием метрополитена и появлением нового подвижного состава требуется постоянная модернизация аппаратуры.

Основными требованиями к аппаратуре, вновь устанавливаемой на подвижном составе метрополитена, являются:

– устойчивость при работе в сложных климатических условиях, таких как повышенная влажность и температурные колебания;

– электромагнитная совместимость с работой устройств, установленных как на подвижном составе, так и в тоннеле;

– устойчивость к механическим нагрузкам;

– энергоэффективность;

– минимизация размеров аппаратуры и простота в её обслуживании;

– совместимость вновь устанавливаемой аппаратуры с действующей аппаратурой.

Развитие современной элементарной базы позволяет реализовать все эти требования. Так, например, аппаратура АЛС-АРС, схема которой была построена на транзисторах, размещалась на стойке размером $1958 \times 735 \times 343$ мм [2]. В настоящее время, с применением интегральных микросхем, монтируется в блоке размером $150 \times 735 \times 343$ мм.

Как показывает практика, развитие технологий производства интегральных микросхем привело к росту их быстродействия, стабильности работы, малым искажениям и рассеиваемой мощности, а также к уменьшению габаритных размеров.

В данном дипломном проекте выполняется модернизация платы согласования уровней (ПСУ) канала допустимой скорости поездной аппаратуры ПА КСД, схема которого построена на одноканальных операционных усилителях.

Целью разработки является замена устаревших программируемых электронных блоков на новые с использованием современной элементной базы. Подобная разработка позволит продлить срок службы поездной аппаратуры управления и обеспечения безопасности движения поездов с вагонами серии 81-717 и 81-540 (ПА КСД-М). Замена элементной базы позволит также минимизировать энергопотребление аппаратуры и уменьшить ее массогабаритные характеристики.

1. Обзор систем автоматического управления поездами на метрополитене

1.1 Системы безопасности при движении поездов на Петербургском метрополитене

1.1.1 Система автоматической блокировки

На метрополитенах эксплуатируют несколько систем автоматического управления поездом, которые имеют общую структуру. Отличаются они алгоритмами управления движением поездов и связанными с этим конструктивными особенностями поездных, путевых и станционных устройств.

Одной из систем регулирования движения поездов на метрополитене является система автоблокировки (рис.1.1). Весь путь разбивается на отдельные участки, электрически изолированные друг от друга. Эти участки называются рельсовыми цепями. На одном конце рельсовой цепи устанавливается источник питания. На другом конце – путевое реле (ПР). В случае отсутствия подвижного состава на рельсовой цепи ПР находится под напряжением и своими контактами включает разрешающее показание светофора [1].

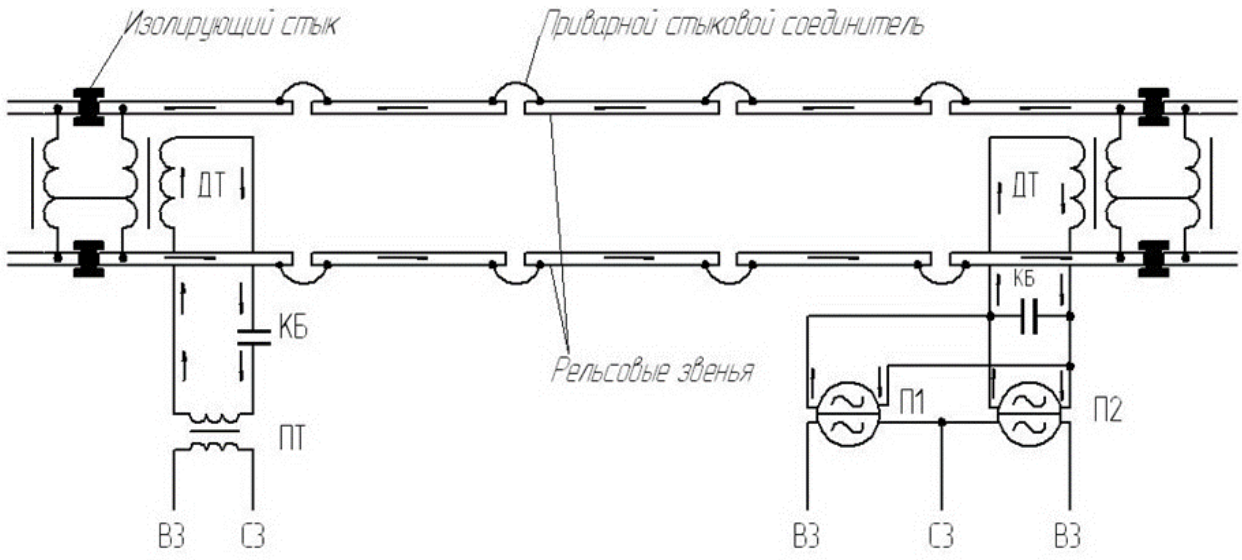

Рис. 1.1 *Схема рельсовой цепи*

В случае занятия подвижным составом рельсовой цепи первая же колёсная пара шунтирует рельсовую цепь, она переходит в режим короткого замыкания. В результате этого ПР обесточивается и включает своими контактами запрещающее показание светофора, ограждающего данную рельсовую цепь (рис.1.2).

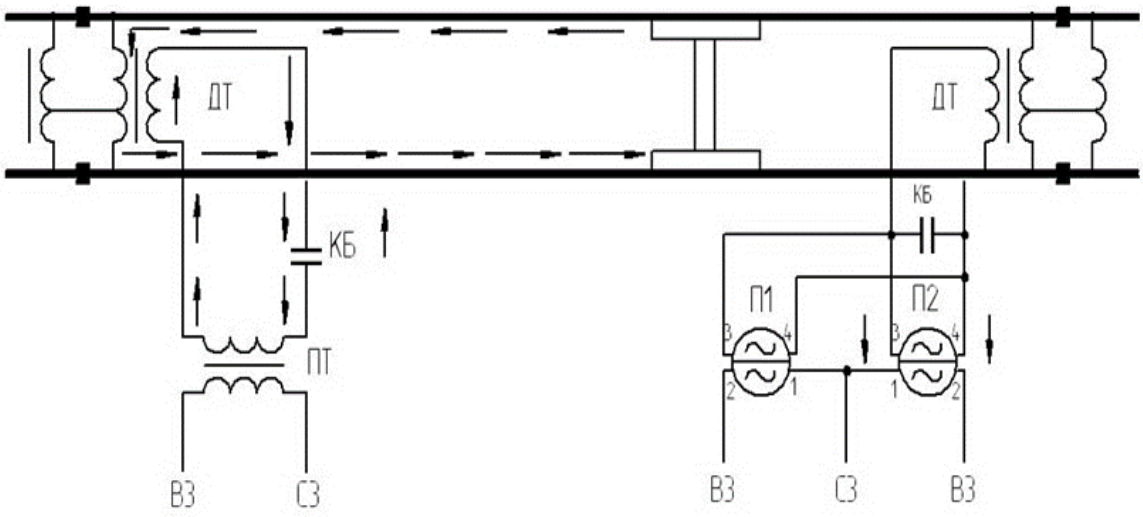

Рис. 1.2 *Схема рельсовой цепи при нахождении на ней подвижного состава*

1.1.2 Система автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости

В начале 60-х годов была создана система автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости (АЛС-АРС) частотного типа. Система АЛС-АРС предназначена для непрерывного контроля и регулирования скорости поезда, ограничения ее в пределах допустимой по условиям безопасности движения. Свойства системы можно характеризовать следующими основными показателями [2]:

- объемом передаваемой информации;
- быстродействием;
- защищенностью от влияний тягового тока;

– надежностью.

Эти свойства зависят от основных технических решений, заложенных в систему, к которым относятся:

– способ измерения допустимой скорости;

– тип линии связи между поездными и путевыми устройствами;

– способ кодирования передаваемой информации.

Система АЛС-АРС характеризуется следующими свойствами:

– частотным способом шифрования информации;

– передачей немодулированных сигналов в рельсах, отличающихся по частоте от гармоник тягового тока;

– приемом кодовых сигналов селективными приемниками на поезде.

Для обнаружения подвижного состава на пути при системе АЛС-АРС используются рельсовые цепи, служащие линией связи при передаче информации с путевых устройств на поездные устройства о допустимой скорости движения по данному участку [3].

Система работает по следующей схеме: путевые устройства разделяют число и длину свободных блок – участков и по результатам сравнения их с длинами тормозных путей вырабатывают соответствующие частоты сигнального тока, которые посылаются по линии связи на подвижной состав.

Сигнальный ток АЛС-АРС передаётся по рельсовой цепи параллельным наложением. Таким образом, в каждой рельсовой цепи присутствие переменный ток частотой 50 Гц для работы путевого реле и переменный ток сигнальной частоты АЛС-АРС для передачи информации на поезд, где осуществляется дешифрование принятых сигналов селективными приёмниками прямого приёма (плакат №1).

Одной из основных задач при такой системе является выделение кодовых (частотных) сигналов АЛС-АРС на фоне помех, обусловленных наличием гармоник тока промышленной частоты 50 Гц. Это означает, что для

передачи кодовых сигналов должны быть выбраны диапазоны, частоты которых значительно отличаются от гармонических составляющих. Гармоники тягового тока образуются при выпрямлении переменного тока частотой 50 Гц. Обычно в тяговой сети имеются 6, 12, 18-я (300, 600, 900 Гц) и более высокие гармоники, кратные шести. Однако при некоторых нарушениях в работе выпрямительных устройств имеют место и другие гармоники с достаточно большим уровнем, в частности, 1, 2, 3, 4-я (50, 100, 150, 200 Гц). Поэтому следует считать, что все частоты, кратные 50 Гц, заняты гармониками тягового тока. Именно по этим причинам для кодовых сигналов АЛС-АРС выбраны частоты, расположенные в середине диапазона между гармоническими составляющими.

Значение частот сигнального тока составляют 75, 125, 175, 225 и 275 Гц, что соответствует допустимой скорости движения 80, 70, 60, 40 и 0 км/ч.

Сигнальный ток частотой 275 Гц используется для формирования команды на торможение до полной остановки. Отсутствие сигнальных частот расценивается так же, как сигнал остановки (плакат№2).

Здесь П – путевое реле, контролирующее занятость или свободность путевых участков; Ш – шифратор, устройство кодирующее информацию о допустимой скорости движения; Г – генератор сигнальных частот; ПК – приёмные катушки, расположенные на поезде.

Структурная схема поездных устройств АЛС-АРС приведена на (рис. 1.3). Приёмные катушки (ПК) поезда подвешены перед первой колесной парой и находятся в магнитном поле, создаваемом сигнальным током. Э.Д.С., наведенная в катушках суммируется и поступает через согласующее устройство (БСУ) на вход блока локомотивных приемников (БЛПМ). БСУ согласует амплитудно-частотные характеристики БЛПМ и сигнала, наведенного в ПК.

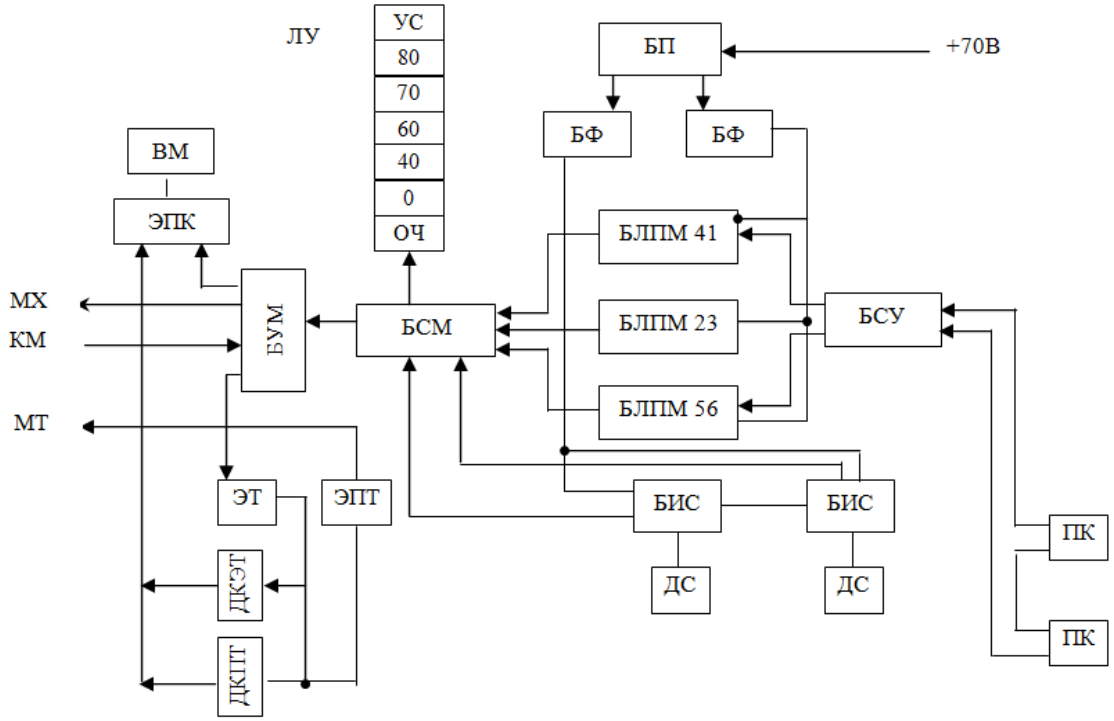

Рис. 1.3 *Структурная схема поездных устройств АЛС-АРС*

БЛПМ принимает кодовый сигнал, расшифровывает его и усиливает до уровня срабатывания исполнительных реле. Приёмные катушки (ПК), согласующее устройство (БСУ), блоки локомотивных приемников в количестве 3-х единиц (БЛПМ-41, БЛПМ-23, БЛПМ-56) входят в состав канала допустимой скорости. Для каждого значения сигнальной частоты предусмотрен селективный приемник, настроенный на прием сигналов в определенном диапазоне частот. Принятый сигнал передается в блок сравнения. На основе полученной информации блок сравнения определяет допустимую скорость и запоминает ее. В блоке сравнения фактическая скорость поезда сравнивается с допустимой и формируется команда для воздействия на схему управления поездом.

Информация о фактической скорости формируется датчиком скорости (ДС). Сигнал с ДС поступает в блок измерения скорости (БИС), определяющий скорость поезда. С БИСа данные о фактической скорости поступают в БСМ. Если фактическая скорость ($V_ф$) больше допустимой

скорости ($V_д$), БСМ формирует сигнал и передает его в блок управления (БУМ), который воздействует на схему управления поездом. Блок питания (БП) предназначен для обеспечения питания (+12В) на блоки БЛПМ и БИС и состоит из резисторного преобразователя 70В-12В. Стабилизация по напряжению обеспечивается стабилитронами. Блоки фильтров (БФ) обеспечивают фильтрацию питания от помех.

Для обеспечения надежного торможения предусмотрен контроль эффективности электрического и пневматического тормозов. Если не срабатывает прибор контроля электропневматического тормоза, то электропневматический клапан (ЭПК), выдержав замедление, приводит в действие экстренный пневматический тормоз.

При управлении поездом машинист руководствуется сигналами о допустимой скорости, которые отображены на пульте управления, и показаниями скоростемера [1].

Система АЛС-АРС позволяет увеличить пропускную способность линии на 20-25% по сравнению с автоблокировкой. Усовершенствование системы позволило выключить светофоры автоблокировки и перейти на регулирование движения поездов по сигналам АЛС.

В настоящее время система АЛС-АРС является одним из устройств безопасности на Петербургском метрополитене, которое позволяет не использовать на составах, оборудованных АЛС-АРС помощника машиниста, тем самым сократить численность локомотивной бригады.

Для облегчения труда машиниста электропоезда метрополитена, начиная с 1968 года, проводятся работы по установке на подвижном составе метрополитена систем автоматического управления поездом. На Петербургском метрополитене эксплуатируется подвижной состав, оборудованный следующими системами автоматического управления поездом: система КСАУПМ (1971г.), ПУАВ (1990г.), ПА КСД (2003г.), ПА-М КСД (2008г.). В связи с появлением новой элементной базы в настоящее время

производится модернизация аппаратуры ПА КСД и на составы устанавливается система ПА КСД-М.

Во всех системах для обеспечения безопасности движения поездов заложены и используются принципы и алгоритмы работы устройств АЛС-АРС, включая дополнительные функции по автоматическому управлению поездом.

1.2 Поездная аппаратура ПА КСД

Структурная схема поездной аппаратуры ПА КСД представлена на (плакате №3).

Аппаратура ПА КСД представляет собой резервированную четырехканальную структуру, выполненную в виде двух полукомплектов ПА1 и ПА2, соответственно для «головного» и «хвостового» вагонов, связанных между собой системными шинами RS-485 – информационной ИШ и управляющей УШ.

Полукомплекты ПА1 и ПА2 конструктивно, структурно и функционально одинаковы, а их различия обусловлены устанавливаемыми в процессе сдачи в эксплуатацию индивидуальными адресами блоков – абонентов системных шин ИШ RS-485 и УШ RS-485 для их последующей идентификации функциональной программой ФП ПА КСД.

Следует иметь в виду, что здесь понятия «головной» и «хвостовой» вагоны условны и не связаны с направлением движения поезда, а введены с целью различения полукомплектов ПА1 и ПА2, так как использование двух одинаковых полукомплектов на одном составе недопустимо. С точки зрения функциональной программы ПА КСД головным считается вагон, в котором установлена РР и из которого осуществлен перевод ПА КСД в рабочий режим.

Реализацию функциональной программы ПА КСД по управлению поездом в соответствии с установленными алгоритмами функционирования обеспечивают блоки БЦВМ.

Конструктивно две БЦВМ каждого из полукомплектов ПА1 и ПА2 объединены в блок БЦВС для обеспечения их размещения в стойке ПА.

БЦВМ состоит из процессорной платы ПР БЦВМ на базе модуля 5025A фирмы Octagon Systems, в которой реализована архитектура Intel 486, платы дискретного ввода-вывода 5600 фирмы Octagon Systems, плат контроллеров интерфейса ПКИ-ИШ и ПКИ-УШ, обеспечивающих связь процессора ПР БЦВМ с другими устройствами ПА КСД по каналам RS-485, и платы питания и отключения ППО БЦВМ.

В поездной аппаратуре ПА КСД применены две резервированные шины обмена по каналу RS-485 – управляющая шина УШ (основная УШ_О и резервная УШ_Р) и шина информационного обмена ИШ (основная ИШ_О и резервная ИШ_Р).

Управляющая шина УШ RS-485 связывает четыре БЦВМ с блоками коммутации БК. С помощью УШ происходит синхронизация работы четырехмашинной системы, а также передача команд управления от каждой БЦВМ в блоки коммутации БК для формирования управляющих воздействий в схему управления поездом. В свою очередь БЦВМ по УШ получают от БК диагностическую информацию, необходимую для идентификации отказов и принятия решения по реконфигурации аппаратуры. Формируемые БЦВМ команды по реконфигурации ПА КСД также по УШ поступают в БК, где они преобразуются в сигналы отключения отказавших устройств.

По информационной шине ИШ RS-485 блоки БЦВМ получают исходную информацию от датчиков и устройств изделия, а также осуществляют информационный обмен с терминалами машиниста ПА КСД, конструктивно состоящими из блоков БТМ и БИК.

Для приема и гальванической развязки сигналов от СУП и пульта машиниста ПМ и передачи их в блок БЦВМ и блок согласования БС предназначен блок гальванической развязки БГР. Блок БГР также обеспечивает прием из БЦВМ, гальваническую развязку и передачу в блок индикации и клавиатуры БИК команды на включение зуммера.

Блок БГР является двухканальным устройством, каждый канал которого состоит из четырех плат ввода ПВ1 БГР, обеспечивающих прием 32 дискретных сигналов, платы вывода ПВ2 БГР, обеспечивающей выдачу команды на включение зуммера и платы управления и питания ПУ БГР, которая синхронизирует работу блока и содержит вторичные источники питания для БГР.

Для ограничения уровня напряжения возможных импульсных помех по цепям сигналов, поступающих в ПА КСД от СУП и ПМ служит двухканальный блок ограничения напряжений БОН, который обеспечивает снижение максимального уровня помех на входах БГР до 150 В.

Блок согласования БС предназначен для приема:

– команд управления поездом с рельсовых цепей от датчиков МПК индуктивного канала (значения допустимой скорости движения поезда – $V_д$);

– сигналов соответствующих фактической скорости $V_ф$ и направлению движения поезда с датчиков РДС;

– сигналов от датчиков коррекции пути ДКП;

– сигналов с блока БГР от СУП и ПМ;

– и передачи этой информации по шине информационного обмена ИШ RS-485 к блокам БЦВМ.

Для определения фактической скорости $V_ф$ и направления движения поезда предназначен реверсивный датчик скорости РДС. Датчики РДС устанавливаются в смотровых люках редукторов колесных пар первой тележки «головного» и «хвостового» вагонов поезда. В РДС применены два пространственно разнесенных относительно друг друга ферромагнитных элемента, включенных в контур генераторов фиксированной частоты. Принцип действия РДС основан на измерении амплитуды сигнала в контуре генератора, которая меняется при прохождении зуба шестерни редуктора колесной пары в непосредственной близости от чувствительных ферромагнитных элементов.

Информация о направлении движения и последовательность импульсов (где каждый импульс свидетельствует о прохождении одного зуба редуктора через чувствительный элемент) поступает на гальванически развязанный вход контроллера внешних устройств КВУ БС.

Датчик коррекции пути ДКП предназначен для формирования сигналов, обеспечивающих коррекцию значений местоположения поезда на перегоне и уточнение диаметра бандажа колес и представляет собой приемопередатчик сигналов в инфракрасном (ИК) диапазоне частот. ДКП работает совместно с пассивными отражателями ИК-сигналов (рефлекторами), установленными на перегонах в фиксированных местах с известными координатами за 10-20 и 100-150 м до точки прицельной остановки поезда на станции.

БЦВМ, производя счисление координат поезда по показаниям от РДС, за несколько метров до подъезда к месту установки отражателя дает через контроллеры КВУ БС команду на включение ДКП, после чего контроллеры КВУ БС фиксируют поступление от ДКП отраженного сигнала и по каналу ИШ RS-485 передают в БЦВМ координату отражателя и начинают отсчет пути до следующего отражателя. БЦВМ по полученной информации производят корректировку счисления координат поезда и, при необходимости, корректируют значение диаметра бандажа колес.

Блок коммутации БК предназначен для синхронизации работы четырехмашинной системы по управляющей шине УШ RS-485, приема команд управления от каждой из четырех БЦВМ, оценку их достоверности путем мажорирования, формирования управляющих сигналов в СУП и их передачи с обеспечением гальванической развязки на исполнение в блок силовой коммутации БСК. Блок БК также обеспечивает контроль исполнения команд управления блоками БСК, выработку и передачу в БЦВМ диагностической информации и рекомендаций по реконфигурации изделия, формирование по командам от БЦВМ сигналов на отключение отказавших устройств ПА КСД.

Блок коммутации выполнен как двухканальное устройство, каждый канал которого состоит из платы диагностики и контроля ПДК БК, двух плат гальванической развязки ПГР БК, платы контроля ключей ПКК БК, платы включения электропневмоклапана ПЭПК БК и платы питания ПП БК.

Блоки силовой коммутации БСК1 и БСК2 предназначены для формирования по командам от блоков БК сигналов управления поездными исполнительными устройствами. Блоки силовой коммутации выполнены на базе мощных транзисторных ключей, обеспечивающих коммутацию тока до 55А.

Блок терминала машиниста БТМ, совместно с блоком индикации и клавиатуры БИК, предназначенным для реализации интерфейса (взаимодействия) между машинистом (оператором) и функциональной программой ПА КСД, обеспечивает прием информации от БЦВМ по ИШ RS-485, ее обработку и передачу на вакуумно-люминесцентные индикаторы блока БИК. А также прием информации с 16-ти кнопочной клавиатуры БИК, ее обработку и передачу в БЦВМ.

В БТМ и БИК реализованы два независимых канала обмена информации - основной ТМ_О и резервный ТМ_Р.

Основной канал БТМ состоит из платы питания ПП БТМ, платы контроллера интерфейса ПКИ БТМ, обеспечивающей обмен по информационной шине ИШ RS-485 с БЦВМ, процессорной платы ППР БТМ на базе модуля 5025A Octagon Systems, которая производит обработку информации, передачу ее на основной индикатор БИК и осуществляет опрос клавиатуры.

Резервный канал БТМ состоит из второй платы питания ПП БТМ и модуля терминала машиниста МТМ, обеспечивающего обмен информацией по информационной шине ИШ RS-485 с БЦВМ, обработку информации, опрос клавиатуры и выдачу информации на резервный индикатор БИК.

В состав БИК входят основной индикатор (формат 4×20), резервный индикатор (формат 2×20), матричная клавиатура 4×4, галетный переключатель

режимов БИК, кнопка машиниста “КСЗД”, тумблер “ВЗП” и электронный звонок. Блоки питания БП предназначены для обеспечения блоков ПА КСД стабилизированным напряжением питания 24±2,4В. Первичным напряжением для БП является напряжение с аккумуляторной батареи 75±15В. Максимальный выходной ток БП - 5А. В блоке питания предусмотрена защита от короткого замыкания и перенапряжений по входным и выходным цепям.

Назначением канала допустимой скорости, для ПА КСД как и для систем АЛС-АРС, является прием и дешифрация команд допустимых скоростей движения поездов по существующему индуктивному каналу связи.

Канал допустимой скорости входит в состав блока сравнения (БС) аппаратуры ПА КСД структурная схема которого представлена на (рис. 1.4). Блок БС выполнен как двухканальное устройство.

Каждый канал блока БС состоит из:

– платы согласования уровней (ПСУ БС), обеспечивающей прием информации с приемных индукторов МПК поезда и согласование уровня принимаемых сигналов с другими устройствами блока;

– платы фильтров частотного канала (ФЧК БС) и платы фильтров фазомодулированного канала (ФФК БС), которые производят соответствующее опознавание информации, поступившей по индуктивному каналу (частотному АЛС-АРС или фазомодулированному ФМК) от платы ПСУ;

– платы контроллера индуктивного канала (КИК БС) которая обеспечивает передачу расшифрованной информации по шине информационного обмена ИШ RS-485 во все блоки БЦВМ;

– платы питания (ПП БС), для преобразования входного питания +24 В в стабилизированное питания блока ± 5 В, ± 15 В с гальванической развязкой входного напряжения от выходных;

– платы контроллера внешних устройств КВУ1 БС и КВУ2 БС, обеспечивающие прием и обработку информации от блоков РДС, ДКП, и ее передачу по информационной шине ИШ RS-485 в блоки БЦВМ.

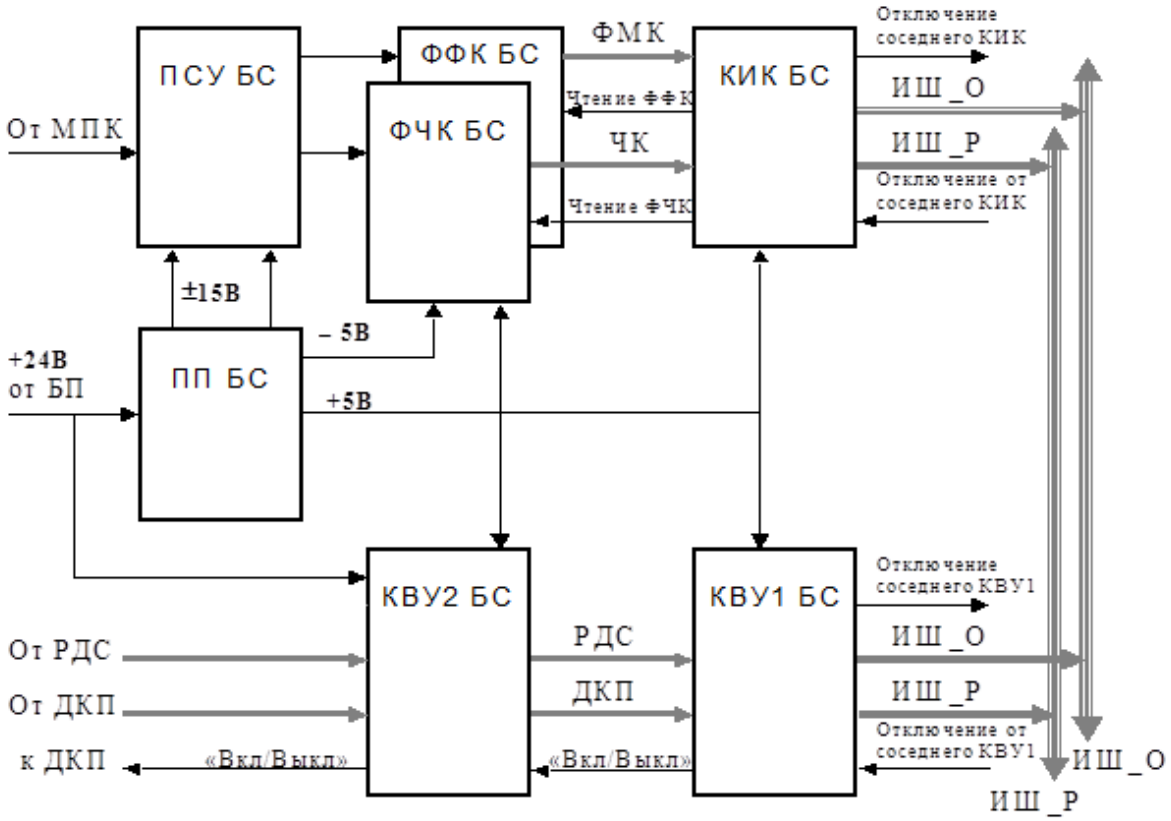

Рис. 1.4 *Структурная схема блока согласования (БС)*

Сигналы с приемных катушек МПК поступают на первичную обмотку входного трансформатора платы ПСУ БС, нормируются по уровню и поступают на входы плат ФЧК БС и ФФК БС. В платах ФЧК или ФФК производится декодирование информации, соответственно ЧК или ФМК, и формируется информационное сообщение по допустимым скоростям движения, которое передается в плату КИК БС.

КИК по запросу от ведущей БЦВМ передает информацию о значении допустимой скорости по каналу информационного обмена ИШ RS-485 по основной или резервной шине всем четырем БЦВМ аппаратуры ПА КСД.

Плата питания ПП БС преобразует напряжение питания 24В±2,4В от блока БП в стабилизированные напряжения питания +5±0,25В, –5±0,25В и

±15±0,75В с гальванической развязкой выходного напряжения от входного для обеспечения всех плат блока необходимыми напряжениями питания. Между двумя платами КИК и двумя платами КВУ1 блока БС предусмотрена связь взаимного отключения, обеспечивающая запрет передачи информации по ИШ RS-485 (разрешен только прием) по сигналу отключения от «соседнего» по блоку БС контроллера при наличии соответствующей команды от БЦВМ.

1.3 Поездная аппаратура ПА КСД-М

Использование новой элементной базы позволило изменить общую структурную схему аппаратуры и конструкцию платы согласования. Общая структурная схема аппаратуры ПА КСД-М приведена на (плакате № 4).

Изменениям подверглись блоки, отмеченные на структурной схеме серым цветом:

– блок связи и вычислений (БСВ-Р) в части установки модулей центрального процессора (МЦП) вместо блока бортовой центральной вычислительной машины (БЦВМ) и модулей связи с датчиками (МСД-К) вместо блока сравнения (БС);

– блок ввода/вывода (БВВ-Р) в части установки контроллера связи и преобразования (КСП) и замены контроллеров блока ввода/вывода;

– блок терминала машиниста (ТМ);

– блок радиомодема (БРМ-Р).

Функционально изменённые блоки выполняют следующие функции:

– блок БСВ-Р предназначен для приема и обработки информации о допустимой скорости движения поезда, поступающей с МПК, информации о фактической скорости движения и местоположении поезда, поступающей от РДС1, РДС2 и ДКП1, ДКП2, а также для решения основных функциональных задач;

– блок БВВ-Р предназначен для приема сигналов от блока гальванической развязки (БГР) и передачи их в БСВ-Р, приема команд управления от БСВ-Р, проверки их на достоверность и вывод команд на блоки силовой коммутации БСК;

– блок ТМ предназначен для приема команд управления движением поезда от машиниста и передачи их в БСВ-Р, а также для визуального контроля и индикации параметров движения и технического состояния аппаратуры;

– обмен информацией между устройствами изделия осуществляется по цифровой вагонной CAN – шине;

– связь изделия с внешней системой через БРМ-Р осуществляется по шине RS-232.

Из общей структурной схемы и назначения блоков аппаратуры следует, что канал допустимой скорости расположен в модуле МСД-К блока БСВ-Р. Структурная схема модуля МСД-К представлена на (рис.1.5).

В плату согласования внешних устройств (СВУ) из аппаратуры ПА КСД вошли:

– плата согласования уровней (ПСУ);

– плата питания (ПП);

– плата контроля внешних устройств (КВУ 2).

Габаритные размеры плат, вошедших в плату СВУ, составляли 100×160 мм каждая. Такой же размер имеет и проектируемая плата. Уменьшение габаритных размеров и стало возможным за счет:

– применения многоканальных операционных усилителей, вместо одноканальных ОУ в схеме платы согласования уровней (ПСУ);

– применения в схеме платы питания (ПП) одного дросселя на входе вместо трех;

– использования микросхем – преобразователей напряжения с габаритными размерами в 5 раз меньшими применявшихся ранее;

– исключения из схемы платы контроля внешних устройств (КВУ2) двух дросселей, предназначенных для стабилизации напряжения, и десяти микросхем блока гальванической развязки.

В плату обработки сигналов (ОБС М) из аппаратуры ПА КСД вошли:

– плата контроля внешних устройств (КВУ 1);

– плата контроля индуктивного канала (КИК).

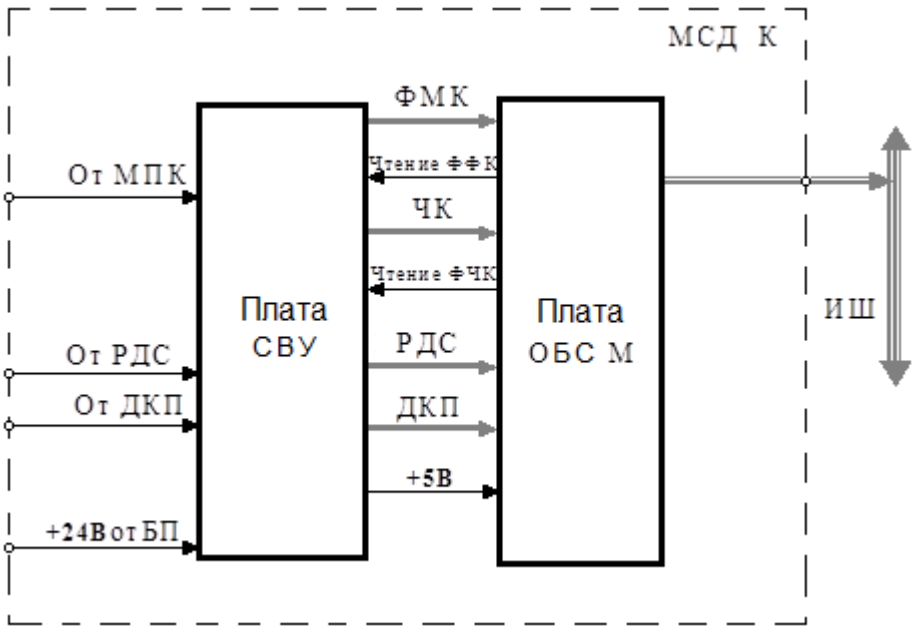

Рис. 1.5 *Структурная схема модуля МСД К*

Уменьшение габаритных размеров и исключение плат ФФК и ФЧК из структурной схемы стало возможным за счет использования 32-разрядного цифрового сигнального процессора на основе микросхемы TMS320F2811PBK.

2 Разработка технического задания

2.1 Назначение платы согласования устройств поездной аппаратуры ПА КСД-М

Из приведенных выше материалов следует, что плата согласования внешних устройств (СВУ) должна обеспечивать:

– прием информации с приемных индукторов МПК поезда и согласование уровня принимаемых сигналов с платой обработки сигналов (ОБС М);

– преобразование входного питания +24 В в стабилизированное питания блока ± 5 В, ± 12 В;

– прием и обработку информации от блоков РДС, ДКП и передачу информации на плату ОБС М.

2.2 Технические требования

В связи с модернизацией, характеристики платы согласования внешних устройств (СВУ) аппаратуры ПА КСД-М должны быть не хуже характеристик платы согласования устройств (ПСУ) аппаратуры ПА КСД.

При этом плата согласования устройств обеспечивала характеристики, приведённые в таблице 2.1

Таблица 2.1

Характеристики платы ПСУ

Допустимый диапазон изменения амплитуды входных ЧК и ФМК сигналов	от 10 мВ до 1В
Коэффициент подавления входного сигнала помехи частотой 50 ± 1 Гц, дБ, не менее	20
Выделение из входного сигнала сигналов ЧК и ФМК:	
- диапазон частот ЧК, Гц	70 - 335
- частота несущей ФМК, Гц	3348,21
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания, дБ, не более	5

продолжение табл. 2.1

Поддержание на выходе ЧК уровня действующего значения, при изменениях амплитуды напряжения входного сигнала в диапазоне от порога включения до 10 В и колебаниях напряжений питания платы в пределах допусков при работе в рабочем диапазоне температур, В, не хуже	1,0 ± 0,05
Порог отключения при уменьшении напряжения входного сигнала ЧК, мВ, не менее	110
Порог включения при увеличении напряжения входного сигнала ЧК, мВ, не более	130
Параметры источников питания платы:	
- плюс (15 ± 0,75) В, потребление тока, А, не более	0,2
- минус (15 ± 0,75) В, потребление тока, А, не более	0,2
Суммарная потребляемая мощность от двух источников питания, Вт, не более	6

2.3 Конструкторско-технологические требования

Размер печатной платы должен соответствовать размеру платы ПСУ аппаратуры ПА КСД 160×100 мм.

Должна быть обеспечена электромагнитная совместимость изделия с действующими устройствами метрополитена. В соответствии с Приложением А ОСТ 32.146-2000 изделие относится:

- по помехоустойчивости (классификатор А3 ОТУ) – класс А 4;
- по помехоэмиссии (классификатор А4 ОТУ) – класс Д4;
- по безотказности (таблица Е5 приложения Е ОТУ) – класс Н2.

Изделие должно функционировать в условиях воздействия электромагнитных помех, номенклатура видов и норм воздействия которых установлены в Приложении В ОСТ 32.146-2000.

Испытания на устойчивость к НИП проводятся по степени жесткости 2, испытания на устойчивость к МИП – по степени жесткости 2, испытания на устойчивость к ЭСР – по степени жесткости 2.

Надежность изделия в условиях и режимах эксплуатации, должна характеризоваться следующими значениями:

– средняя наработка на отказ (То) – не менее 10000 ч;

– среднее время восстановления без учета времени доставки сменного элемента на место (Тв) – не более 1 ч;

– соответствие изделия требованиям по надежности на этапе проектирования оценивается расчетным методом (То) ГОСТ 27.301-95 с использованием данных о надежности комплектующих изделий, на этапе эксплуатации – экспериментальным методом (То, Тв) по ГОСТ 27.410-87 при доверительной вероятности 0,95;

– отказ изделия не должен приводить к отказу оборудования вагонов;

– изделие должно обеспечивать оперативность и удобство деятельности обслуживающего персонала при подготовке аппаратуры к работе, при выполнении штатных функций, при регламентных работах и ремонте.

Конструкция изделия должна обеспечивать:

– достижение заданных показателей качества при минимальных затратах на его изготовление, техобслуживание и ремонт;

– применение прогрессивных технологических процессов, унифицированного и типового оборудования, технологической оснастки в процессе изготовления;

– технологичность изготовления в серийном производстве. Технологичность должна устанавливаться в соответствии с ГОСТ 14.201-83.

2.4 Эксплуатационные требования

Изделие должно функционировать во всех регламентированных режимах работы с установленным критерием качества в условиях воздействия механических нагрузок и климатических факторов, установленных ОТУ ОСТ 32.146-2000 для изделий следующих классов в соответствии с установочно-монтажными условиями в месте применения:

– для классов ММ1;

– для классов К5.1 с учетом изменений в части воздействия климатических факторов при температуре плюс 25 °С при верхнем значении относительной влажности воздуха 93 %.

Изделие должно работать без средств кондиционирования при температуре внешней среды до плюс 50°С не менее 24 часов с последующим перерывом не менее 4 часов.

Изделие должно сохранять работоспособность после отстоя поезда при температуре окружающего воздуха от минус 20 до плюс 50°С с последующей выдержкой в нормальных условиях в течение времени не менее 4 часов.

3 Разработка структурной схемы

Плата согласования уровней ПА КСД состоит и следующих блоков (рис.3.1):

– входной каскад (ВК) – предназначенный для согласования с приёмными катушками;

– заграждающий фильтр на частоту 50 Гц (ЗГ);

– выходной каскад ФМК – предназначен для согласования с входным каскадом платы ФФК;

– фильтр низкой частоты ФНЧ - предназначен для выделения из поступившего входного сигнала сигналов ЧК. С выхода ФНЧ сигнал поступает на вход схему АРУ и на прецизионный детектор;

– схема АРУ - предназначена для формирования на входе выходного каскада ЧК сигнала, амплитуда которого не зависит от амплитуды входного сигнала платы;

– прецизионный детектор – совместно с интегратором формирует сигнал постоянного уровня, пропорционального амплитуде поступившего сигнала ЧК;

– схема отключения выхода - с выхода интегратора сигнал поступает на схему отключения выхода, если заданный уровень порога превышает уровень выходного сигнала интегратора, то сигнал с выхода схемы АРУ отключается от входа выходного каскада ЧК;

– выходной каскад ЧК – предназначен для согласования с входным каскадом платы ФЧК.

При реализации структурной схемы платы ПСУ дополнительно требуются платы ФФК и ФЧК для дополнительной фильтрации и обработки сигналов частотного и фазомодулирующего канала. Кроме того, схема АРУ предусмотрена лишь для частотного канала и не осуществляет регулировку сигнала ФМК, что также потребует дополнительной обработки сигнала в плате ФФК.

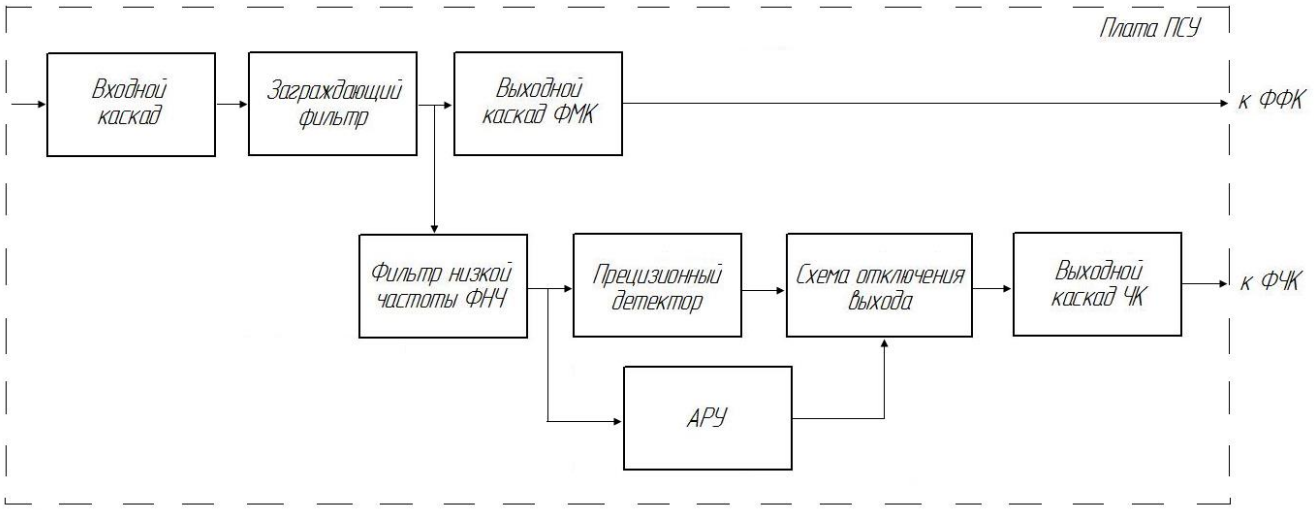

Рис.3.1 *Структурная схема платы ПСУ*

Структурная схема платы согласования внешних устройств СВУ аппаратуры ПА КСД-М в части обработки сигналов с приёмных катушек (рис.3.2) состоит:

– входной каскад – предназначенный для согласования с приёмными катушками;

– заграждающий фильтр 50 Гц – предназначен для подавления сигнала с частотой 50Гц;

– заграждающий фильтр 300 Гц – предназначен для подавления сигнала с частотой 300 Гц;

– инвертирующий усилитель – работает в качестве каскада предварительного усиления обеспечивает согласование по напряжению с АРУ;

– АРУ - предназначена для регулирования уровня сигнала на выходных каскадах ЧК и ФМК в зависимости от сигнала с микроконтроллера;

– выходной каскад ЧК – предназначен для согласования с входом микроконтроллера.

– выходной каскад ФМК – предназначен для согласования с входом микроконтроллера.

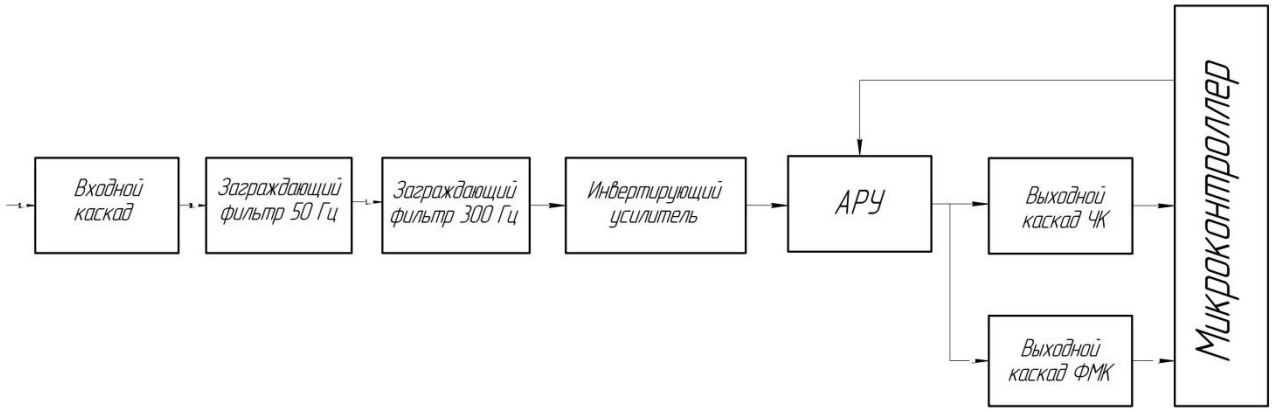

Рис. 3.2 *Структурная схема платы СВУ в части приёма сигнальных команд о допустимой скорости*

По сравнению со структурной схемой платы ПСУ, структурная схема на (рис. 3.2), является законченной цепочкой в части организации обработки сигналов частотного и фазомодулированного канала. В дальнейшем не требуется дополнительная фильтрация и обработка сигналов, т.к. сигналы непосредственно поступают на входы аналогово-цифрового преобразователя микроконтроллера. Сопряжение сигналов частотного и фазомодулированного каналов с вводами микроконтроллера обеспечивает АРУ, оказывающее влияние на выходной сигнал в зависимости от команд, поступающих с микроконтроллера.

4 Разработка принципиальной схемы и электрический расчет её узлов и блоков

4.1 Выбор элементной базы

Выбор элементной базы, как отмечалось выше, обусловлен требованиями минимизации энергопотребления аппаратуры, и уменьшения ее массогабаритных характеристик. Всё это стало возможным благодаря использованию многоканальных ОУ OP282GS и OP482GS.

Основные характеристики ОУ приведены в таблице 4.1. и таблице 4.2

Таблица 4.1

Основные характеристики ОУ

Электрические параметры	**544 УД1А [10]**	**OP282GS, OP482GS**
Номинальное напряжение питания	15 В	11…..15 В
Выходное напряжение	10 В	13,5В
Напряжение шумов	5 мкВ	1,3 мкВ
Напряжение смещения нуля	15мВ	3 мВ
Средний входной ток	0,05 нА	0,01нА
Разность входных токов	0,02 нА	-
Ток потребления	3,5 мА	2,5 мА
Коэффициент усиления напряжения	200000	-
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений	80 дБ	70 дБ
Коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещения нуля	100 мкВ/В	316 мкВ/В
Средний температурный дрейф разности входных токов	25 нА/ ° С	0,008 нА/ ° С
Средний температурный дрейф напряжения смещения нуля	20 мкВ/ ° С	10 мкВ/ ° С
Частота единичного усиления	1 МГц	4МГц
Максимальная скорость нарастания выходного напряжения	≥ 2 В/мкс	7 В/мкс
Входное сопротивление	1,5 · 1011 Ом	-

Таблица 4.2

Основные характеристики ОУ

Предельно допустимые режимы эксплуатации	**544 УД1А**	**OP282GS, OP482GS**
Напряжение источников питания	±(13,5...16,5) В	4,5…..18
Входные дифференциальные и синфазные напряжения	±10 В; ±12В	±36 В
Максимальная рассеиваемая мощность в диапазоне температур от -45 до +70 ° С	200 мВт	-
Сопротивление нагрузки в предельном режиме	2 кОм	-
Емкость нагрузки	500 пФ	-
Температура окружающей среды	-10...+70 ° С	-40...+85 ° С

ОУ имеют следующие параметры [4,6]:

– номинальное напряжение питания – напряжение, используемое для питания ОУ. Диапазон питания ОУ OP282 и OP482 шире, значит и источник питания можно подобрать с меньшим значением напряжения и значением тока потребления, что приведёт к минимизации энергопотребления схемы;

– напряжение шумов определяется как размах напряжения (от пика до пика) в заданном диапазоне частот. Напряжение шумов, а значит и сами шумы у проекта меньше, чем у аналога. При введении резистора в цепь неинвертирующего входа для уменьшения смещения нуля ОУ шумы у аналога будут выше;

– напряжение смещения нуля определяется как напряжение, которое необходимо приложить между входами ОУ для компенсации смещения нуля на выходе. У аналога это напряжение больше в 5 раз, значит, для компенсации нуля на выходе нужно применять мероприятия, рассчитанные на компенсацию данного напряжения, что приводит к увеличению количества радиокомпонентов в используемой схеме. Параметр служит для подбора компенсационных резисторов;

– входные токи, протекающие через входные контакты ОУ. Эти токи обусловлены базовыми токами входных биполярных транзисторов и токами утечки затворов для ОУ с полевыми транзисторами на входе. Входные токи, проходя через внутреннее сопротивление источника сигнала, создают падения напряжений, которые могут вызвать появление напряжений на выходе в отсутствие сигнала на входе;

– ток потребления – это ток потребляемый одним ОУ. Так как ток потребляемый аналогом больше, то и потери больше чем у проекта;

– коэффициент ослабления синфазных входных напряжений определяется как отношение коэффициентов усиления дифференциального и синфазного сигналов. У проекта этот показатель хуже т.к. происходит изменение выходного напряжения в зависимости от изменения синфазного входного сигнала, который в нашем случае является помехой;

– коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещения нуля – это отношение изменения напряжения смещения к вызвавшему изменению одного из питающих напряжений. У аналога этот показатель лучше, следовательно, при использовании проекта необходимо, стабилизировать входное напряжение для исключения изменения сигнала на выходе;

– средний температурный дрейф разности входных токов определяется как отношение изменения входного тока к изменению температуры. Изменение входного тока у проекта практически не зависит от изменения температуры;

– средний температурный дрейф напряжения смещения нуля определяемый как изменение входного напряжения к изменению температуры у проект лучше, т.е. при изменении температуры напряжение смещения нуля изменяется меньше чем у аналога;

– частота единичного усиления определяет активную полосу пропускания, максимально реализуемую для данного ОУ. С точки зрения выполнения требований ТЗ оба операционных усилителя по данному показателю будут выполнять свои функции, т.к. максимальная рабочая частота составляет 3,4 кГц;

– максимальная скорость нарастания выходного напряжения определяется как максимальная скорость изменения выходного напряжения по времени. Как и в предыдущем случае, параметры аналога и проекта обеспечат работу в требуемом диапазоне частот;

– входное дифференциальное напряжение – это напряжение, измеряемое между двумя входами и при превышении которого может произойти повреждение ОУ. У аналога оно значительно (в 3,5 раза) меньше, чем у проекта;

– входное синфазное напряжение определяется как напряжение, приложенное одновременно к обоим входам ОУ;

– температура окружающей среды при работе в экстремальных режимах у аналога не соответствует требованиям ТЗ.

На основании рассмотренных выше основных характеристиках можно сделать вывод, что проект более полно отвечает требованиям технического задания, чем аналог.

Для предотвращения появления наводок в ОУ в схеме должны быть предусмотрены емкостные развязки по цепям питания. Шунтирование питающих напряжений необходимо, чтобы предотвратить падение напряжения сигнала на индуктивности, имеющейся у проводников питающего напряжения, растущей с их длиной. Выводы конденсатора не должны иметь индуктивности, сравнимые с индуктивностями проводника питания, поэтому конденсаторы располагают как можно ближе к выводам ОУ[7]. Величину конденсаторов по питанию выбираем 0,1мкФ.

Для предотвращения прохождения по цепям импульсов и наводок, приводящих к превышению предельно допустимых значений, рекомендуется

применять параметрические стабилизаторы напряжения питания или подключать между выводами питания и общим выводом стабилитроны с напряжением стабилизации выше напряжения питания на 3...5 В.

Чтобы минимизировать мощность, рассеиваемую схемой, напряжение питания должно быть как можно более низким. Поэтому вместо ±15 В применяем напряжение питания ±5 В.

4.2 Расчет входного каскада

Общая принципиальная схема платы СВУ приведена на (плакате №5).

Входной сигнал с контактов КР1, КР2 соединителя Х1.1 поступает на защитные предохранители F1, F2, с которых через развязывающий трансформатор Т1 к коэффициентом трансформации 1:2 поступает на входной каскад. Максимальное входное напряжение с приёмных катушек составляет 1,4 В. Следовательно напряжение на входе схемы будет 2,8 В.

Входной каскад строиться на основе операционного усилителя

OP282GS, характеристики которого, приведены в таблице 4.1, 4.2, используя канал А (DA3).

Назначение выводов OP282GS (рис.4.1):

1. Выход канала А;
2. Инверсный вход канала А;
3. Прямой вход канала А;
4. $-\ U_{пит}$
5. Прямой вход канала В;
6. Инверсный вход канала В;
7. Выход канала В;
8. $+\ U_{пит}$.

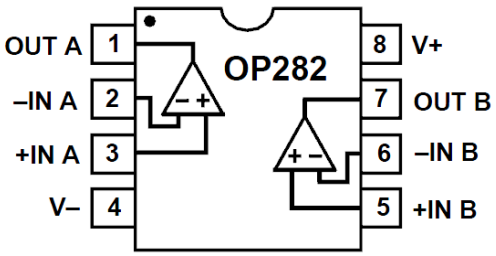

Рис.4.1 *Назначение выводов ОУ OP282GS*

Канал А DA3 предназначен для согласования с приемными катушками МПК. Инерционное звено первого порядка входного каскада не пропускает на вход заграждающего фильтра высокочастотные помехи, т.е. является

фильтром нижних частот. Приблизительный вид амплитудно-частотной характеристики фильтра нижних частот (ФНЧ) представлен на (рис. 4.2).

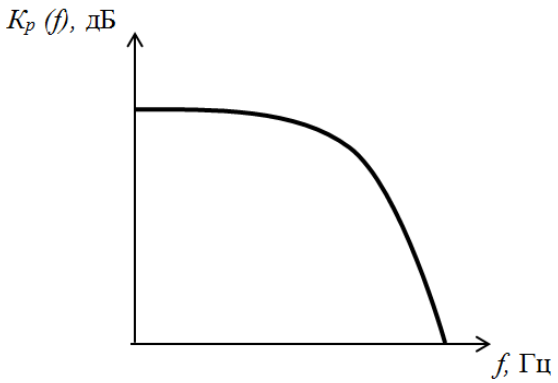

Рис.4.2 *Амплитудно-частотная характеристика ФНЧ*

Для расчета схемы приведенной на (рис. 4.3) задаёмся следующими параметрами [4]:

– коэффициент усиления по напряжению выбираем равным 1, т.к. амплитудное значение напряжения на входе находится в пределах от 10 мВ до 1,4 В;

– частоту среза определяем с четырехкратным запасом от максимальной частоты ФРМ сигнала (3,4 кГц) 3,4×4 = 13,6 кГц;

– емкость C_{25} выбираем равной 560пФ.

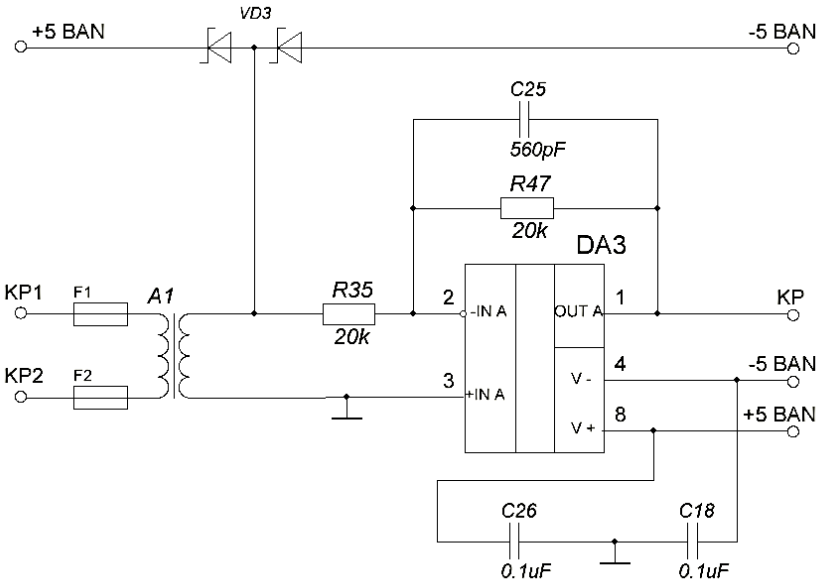

Рис.4.3 *Схема входного каскада*

Для заданной частоты среза *fc*, и ёмкости конденсатора C_{25} номиналы резисторов находятся из уравнения (4.1):

$$R_{35} = \frac{a_1}{2\pi f_c C_{25}}\ , \qquad (4.1)$$

где a_1 – коэффициент фильтра, для фильтра первого порядка равен 1

$R_{35} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 14 \cdot 10^3 \cdot 560 \cdot 10^{-12}}$ *=20 кОм*

Т.к. коэффициент усиления по напряжению равен 1 то

$R_{35} = R_{47}$ *=20 кОм*

Таким образом, максимальное напряжение на выходе ФНЧ составляет 2,8 В.

4.3 Расчет заграждающего (режекторного) фильтра на 50 ГЦ

Для подавления мешающих частот, создаваемых тяговой электросетью, необходим фильтр, коэффициент передачи которого на резонансной частоте равен нулю, а для верхних и нижних частот имеет постоянное значение. Такой фильтр называется заграждающим или режекторным фильтром [5].

Приблизительный вид амплитудно-частотной характеристики заграждающего (режекторного) фильтра представлен на (рис. 4.4).

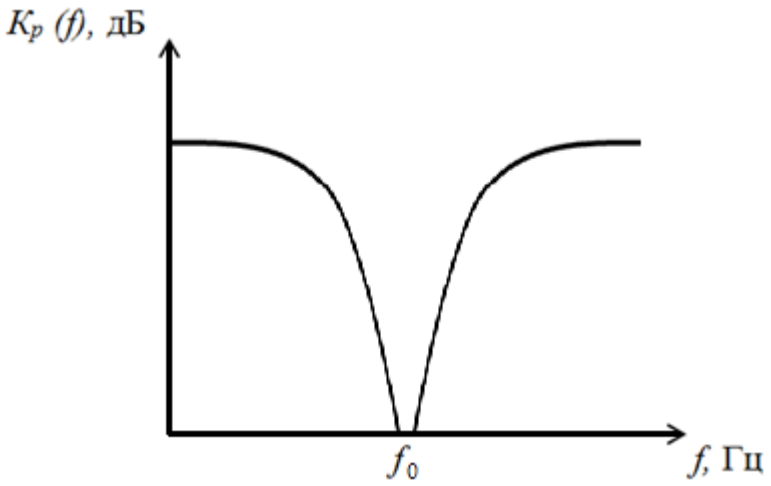

Рис.4.4 *Амплитудно-частотная характеристика заграждающего фильтра*

Крутизна характеристик зависит от величины добротности фильтров, чем выше добротность, тем круче спад (подъём).

Наиболее популярными схемами режекторных фильтров являются активный фильтр с двойным Т-образным мостом и фильтр Вина — Робинсона (Wien — Robinson), оба относящиеся к фильтрам второго порядка.

Фильтр с двойным Т-мостом даёт возможность изменять добротность Q путём изменения коэффициента усиления без влияния на центральную частоту режекции. Однако добротность и коэффициент усиления невозможно изменять независимо друг от друга. А увеличение коэффициента усиления ведет к увеличению шумов.

В отличие от фильтра с двойным Т-мостом, схема Вина — Робинсона позволяет изменять коэффициент усиления в полосе пропускания без влияния на добротность [4].

Заграждающий фильтр на частоту 50 Гц строится на базе ОУ OP482GS (DA4) характеристики которого приведены в таблице 4.1, 4.2, используя канал A (DA4) и канал B (DA4) по стандартной схеме активного фильтра с мостом Вина-Робинсона (рис 4.6).

Назначение выводов OP482GS (рис. 4.5):

1. Выход канала A;
2. Инверсный вход канала A;
3. Прямой вход канала A;
4. + $U_{пит}$
5. Прямой вход канала B;
6. Инверсный вход канала B;
7. Выход канала B;
8. Выход канала C;
9. Инверсный вход канала C;
10. Прямой вход канала C;
11. – $U_{пит}$;
12. Прямой вход канала D;

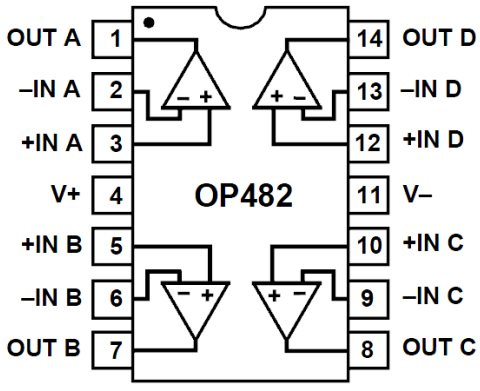

Рис. 4.5 *Назначение выводов ОУ OP482GS*

13.Инверсный вход канала D;

14. Выход канала D.

Для расчета задаём величину добротности $Q=4$, частоту режекции $f_0=50$ *Гц*, ёмкость конденсатора $C_{27}=C_{19}=0{,}1$ *мкФ,* коэффициент усиления в полосе пропускания $K_0=0{,}2$

Определяем сопротивление:

$$R = \frac{1}{2\pi f_0 C_{27}} = \frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot 50\cdot 0{,}1\cdot 10^{-6}} = 31847 \text{Ом}$$

Для обеспечения стабильности напряжения при изменении уровня полезного сигнала применяем в схеме потенциометрические делители напряжения в отношении 1:32,5, получим

$R_{22}= R_{44}=31847:32{,}5= 979$ *Ом*

Из ряда Е48 номинальных сопротивлений резисторов выбираем значение сопротивления

$R_{22}= R_{44}=953$*Ом*

Тогда $R_{31}= R_{49}=31847-953= 30894$*Ом* $=30{,}9$ *кОм*

Определим коэффициент α:

$\alpha=3Q-1=3\cdot 4-1=11$

Определяем коэффициент β

$\beta = - K_0\cdot 3Q=-0{,}2\cdot 3\cdot 4=-2{,}4$

Выбираем величину сопротивления $R_{23}=100$ *кОм*

Тогда

$R_{17} = \left|\frac{R_{23}}{\beta}\right| = \left|\frac{100}{-2{,}4}\right| = 42$*кОм* выбираем $R_{17}=47$ *кОм*

$R_{19} = \left|\frac{R_{23}}{\alpha}\right| = \left|\frac{100}{11}\right| = 9{,}09$ *кОм*

Произвольно выбираем $R_{36}=10$ *кОм*

Тогда $R_{37}=10\cdot 2=20$ *кОм*

Конденсатор C_{14} предназначен для повышения стабильности работы схемы и уменьшения шумов, его величину выбираем *56пФ*.

Из расчетов видно, что изменяя величину сопротивления резисторов R_{31}, R_{49} можно влиять на величину частоты режекции. Изменяя величину R_{37} можно влиять на добротность фильтра.

Величина напряжения на выходе с фильтра определяется как

$U_{вых} = U_{вх} \cdot K_0 = 2{,}8 \cdot 0{,}2 = 0{,}56\ В$

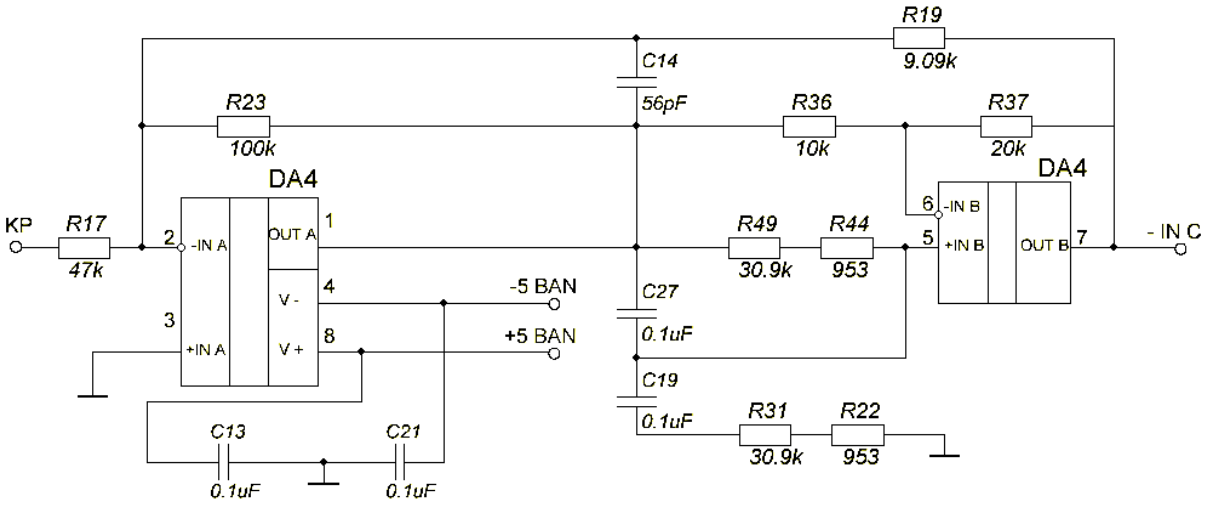

Рис. 4.6 *Схема заграждающего фильтра*

4.4 Расчет заграждающего (режекторного) фильтра на 300 ГЦ

Заграждающий фильтр на частоту 300 Гц строим на базе ОУ OP482GS (DA4) характеристики которого приведены в таблице 4.1, 4.2, используя канал C (DA4-3) и канал D (DA4-2) по стандартной схеме активного фильтра с мостом Вина-Робинсона по методикам приведённым в пункте 4.3.

Для расчета задаём величину добротности $Q=5$, частоту режекции $f_0=300\ Гц$, ёмкость конденсатора $C_{28}=C_{20}=0{,}01\ мкФ$, коэффициент усиления в полосе пропускания $K_0=0{,}43$

Определяем сопротивление:

$$R = \frac{1}{2\pi f_0 C_{28}} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 300 \cdot 0{,}01 \cdot 10^{-6}} = 53078 Ом$$

Для обеспечения стабильности напряжения при изменении уровня полезного сигнала применяем в схеме потенциометрические делители напряжения в отношении 1:1014, получим:

$R_{25}= R_{45}=53078:1014= 52,3$ *Ом*

Тогда $R_{32}= R_{50}=53078-52,3 = 53025$ *Ом* $=53$ *кОм*

Определим коэффициент α:

$\alpha=3Q-1=3\cdot5-1=14$

Определяем коэффициент β:

$\beta = - K_0\cdot3Q=-0,43\cdot3\cdot5=-6,5$

Выбираем величину сопротивления $R_{24}=301$ *кОм*

Тогда:

$$R_{18} = \left|\frac{R_{24}}{\beta}\right| = \left|\frac{301}{-6,5}\right| = 46,3 \text{ кОм}$$

Из ряда Е48 номинальных сопротивлений резисторов выбираем значение сопротивления $R_{18}=47$ *кОм*

$$R_{19} = \left|\frac{R_{24}}{\alpha}\right| = \left|\frac{301}{14}\right| = 20,5 \text{ кОм}$$ выбираем $R_{19}=20$ *кОм*

Произвольно выбираем $R_{38}=10$ *кОм*

Тогда $R_{39}=10\cdot2=20$ *кОм*

Конденсатор C_{15} для повышения стабильности работы схемы и уменьшения шумов, его величину выбираем *560пФ*.

Из расчетов видно, что изменяя величину сопротивления резисторов R_{32}, R_{50} можно влиять на величину частоты режекции. Изменяя величину R_{37} можно влиять на добротность фильтра.

Величина напряжения на выходе с фильтра определяется как

$U_{вых} = U_{вх}\cdot K_0 = 0,56\cdot0,43=0,24$ *В*

4.5 Расчет инвертирующего усилителя

Для увеличения уровня сигнала после предварительной фильтрации используем инвертирующий усилитель. Усилитель строится на канале В операционного усилителя DA3 (рис 4.7).

Для исключения превышения напряжения питания ОУ, которое составляет 5В и для согласования схемы, необходимо увеличить напряжение после режекторных фильтров в 20 раз. Коэффициент усиления определяется по формуле:

$$K = \frac{R_{48}}{R_{16}} \qquad (4.2)$$

Выберем R_{48}=*100 кОм* тогда R_{16} определится как:

$$R_{16} = \frac{R_{48}}{K} = \frac{100}{20} = 5 \text{ Ом}$$

Из ряда величины сопротивлений Е96 выбираем значение R_{16} =*4,75 Ом*

Тогда величина усиления составит:

$$K = \frac{R_{48}}{R_{16}} = \frac{100}{4{,}75} = 21$$

Величина напряжения на выходе усилителя составит:

$U_{вых} = U_{вх} \cdot K = 0{,}24 \cdot 21 = 5$ *В*

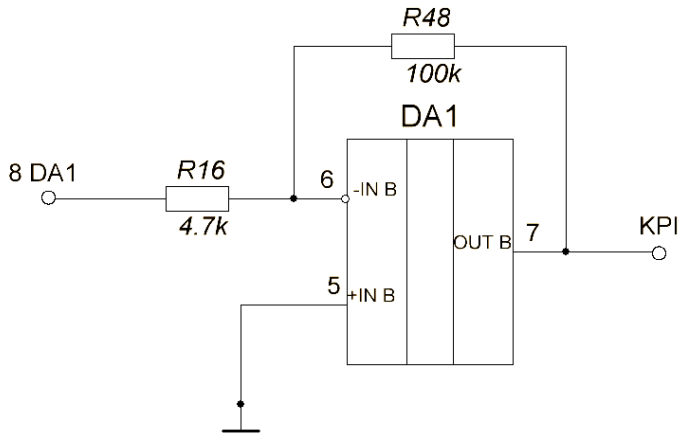

Рис.4.7 *Схема инвертирующего усилителя*

4.6 Схема автоматической регулировки усиления (АРУ)

Схема АРУ предназначена для формирования на выходе выходного каскада ЧК и ФМК сигнала, амплитуда которого не зависит от амплитуды входного сигнала.

Сигнал с инвертирующего усилителя поступает на регулируемый делитель R_{27}, которым устанавливается требуемая чувствительность по приему

сигналов. В качестве R_{27} используется потенциометр 3296W-1-203 с регулировкой от 50 Ом до 20 кОм.

Следовательно максимальная величина напряжения с делителя составит:

$$U_{вых} = U_{вх}\frac{R_{27}}{R_{27}+R_{26}} = 5\cdot\cdot\frac{20}{20+4,7}=4\ В$$

Первый каскад АРУ выполнен на ОУ OP482GS канал A (DA5) и представляет собой повторитель напряжения, используется как буферный усилитель, для исключения влияния низкоомной нагрузки на источник с высоким выходным сопротивлением.

При этом $U_{вых} = U_{вх}$=4В

Второй каскад выполнен на базе микросхемы MAX5420BEUA (DA1) и ОУ OP482GS канал B (DA5).

Микросхема MAX5420BEUA, является цифровым программируемым прецизионным делителем напряжения, с помощью которой устанавливается требуемая амплитуда выходного напряжения второго каскада схемы АРУ в зависимости от входных сигналов *KU0* и *KU1* с микроконтроллера. Требуемое напряжение на входе микроконтроллера должно быть в пределах 0 ÷ 3 В.

Назначение выводов MAX5420BEUA (рис. 4.8):

1. - Uпит;
2. + Uпит;
3. Заземление;
4. Вход для цифрового управляющего сигнала;
5. Вход для цифрового управляющего сигнала;
6. Вход на делитель напряжения;
7. Выход с делителя;
8. Вход на делитель напряжения.

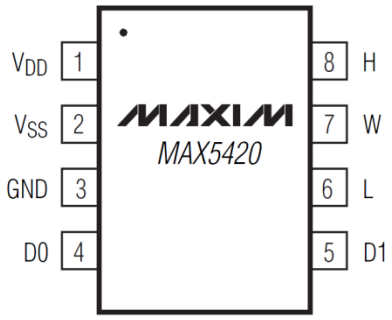

Рис.4.8 *Конфигурация выводов микросхемы MAX5420BEUA*

Основные технические характеристики приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3

Технические характеристики микросхемы MAX5420BEUA

Напряжение питания	±5 В
Потребляемый ток	0,3 мА
Полное сопротивление (между выводами 6 и 8)	15 кОм
Сопротивление между выводами 8 и 7	500 Ом ÷ 8кОм
Температура окружающей среды	-40...+85 ° С

Таким образом, каскад представляет собой регулируемый неинвертирующий усилитель (рис. 4.9), коэффициент усиления которого зависит от значения сигналов 0 или 1, подаваемых с микроконтроллера.

Коэффициент усиления рассчитаем по формуле (4.3):

$$K = 1 + \frac{R_{78}}{R_{68}} = 1 + \frac{500.....8000}{15000} = 1\ .....1,5 \qquad (4.3)$$

где R_{78} - сопротивление между выводами 8 и 7

R_{68} - полное сопротивление (между выводами 6 и 8)

$$K = 1 + \frac{500.....8000}{15000} = 1\ .....1,5$$

При таком коэффициенте усиления необходимо чтобы выходе с делителя напряжение было $U_{вых} = U_{вх}:K = 3,0:1,5=2,0$ В

Таким образом, обеспечивается необходимая величина напряжения на входе аналогового цифрового преобразователя микроконтроллера.

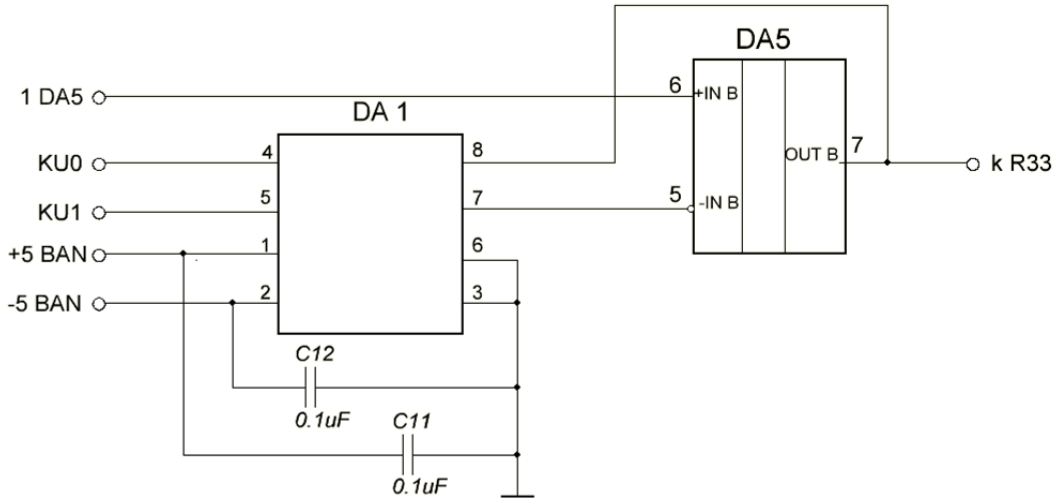

Рис.4.9 *Схема АРУ*

4.7 Схема выходного частотного канала (ЧК)

Выходной каскад частотного канала предназначен для согласования с входом микроконтроллера (рис. 4.10). Выходной каскад строится на ОУ OP482GS канал C (DA5). В связи с тем, что на выходе АРУ уже получена величина требуемого напряжения, коэффициент усиления используемого каскада должен быть равен 1. Поэтому величина сопротивлений R46 и R33 должны быть равны.

Эта величина не должна быть большой, т.к. при выборе больших номиналов резисторов в схемах с ОУ является увеличение токовых шумов ОУ и тепловых шумов резисторов, а также увеличение влияния паразитных ёмкостей на работу схемы. Выбираем R46 = R33=10 кОм.

Параллельно R46, для усреднения и обеспечения пропорциональности выходного напряжения схемы среднему амплитудному значению входного напряжения каскада, включают C29, величиной 1нФ.

Для того чтобы исключить смещение нуля ОУ из-за его входных токов устанавливают сопротивление R43 величиной 3 кОм.

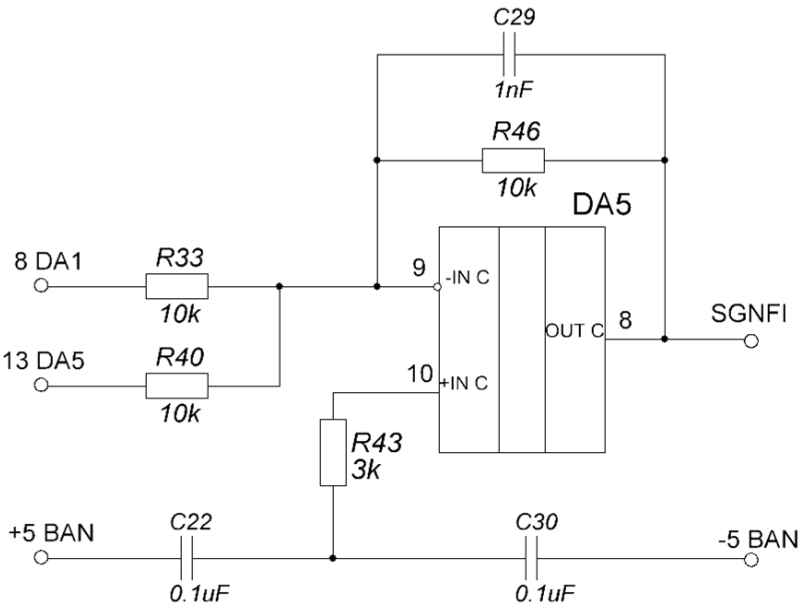

Рис. 4.10 *Схема выходного каскада частотного канала*

Расчет остальных каскадов производится по методикам, приведённым в предыдущих пунктах.

4.8 Расчет мощности, потребляемой схемой

Воспользовавшись информацией о величинах токов в элементах схемы и напряжениях питания можно рассчитать мощность, потребляемую проектируемой платой по формуле (4.4):

$$P_{потр} = I_{потр} \cdot U_{пит} \qquad (4.4)$$

OP282GS – *2,5мА* $P_{потр} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5 = 0{,}05$ *Вт*

OP482GS – *2,5мА* $P_{потр} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2 \cdot 5 = 0{,}1$ *Вт*

MAX5420BEUA – *0,3 мА* $P_{потр} = 0{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0{,}0015$ *Вт*

Суммарная потребляемая мощность составит *0,1515 Вт.*

У аналога:

544 УД1А – 3,5мА $P_{потр} = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 15 = 0{,}525$ *Вт*

525ПС2А – 6 мА $P_{потр} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 15 = 0{,}18$ *Вт*

Суммарная потребляемая мощность аналога 0,705 Вт, что в 4,7 раза выше, чем у проекта.

5 Конструкторско-технологическая часть

Плата СВУ входит в состав аппаратуры ПА КСД-М. Вся аппаратура устанавливается в стойке. Стойка расположена в левом отсеке головного вагона поезда.

5.1 Конструктивное исполнение стойки ПА КСД-М

Стойка ПА КСД-М (рис.5.1) разработана на базе шкафа НТМ 1707 ЦИФК.300140.001ТУ 19-дюймового конструктива серии 482,6 мм по ГОСТ 28601.2 (плакат № 6).

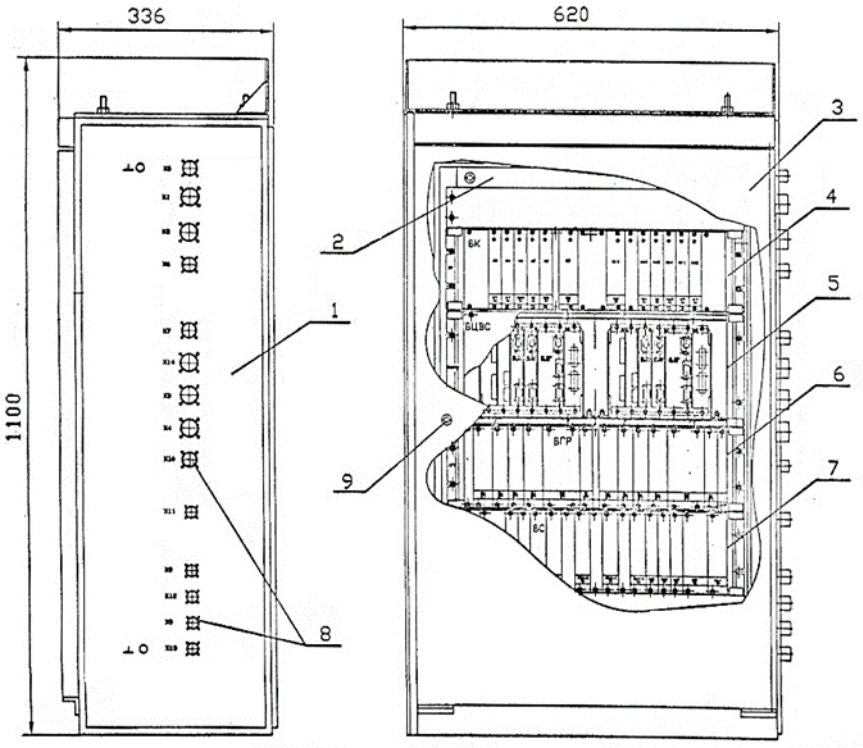

Рис. 5.1 *Стойка аппаратуры ПА КСД-М*

1. Шкаф; 2. Поворотная рама; 3. Дверь; 4. Блок БКС; 5. Блок БВВ-Р; 6. Блок БГР; 7. Блок БСВ-Р; 8. Соединители ОНЦ; 9. Замок.

Шкаф НТМ 1707 вместе с каркасами для блоков - покупной, выполнен в пылевлагонепроницаемом исполнении, удовлетворяющим требованиям по эксплуатации – степень защиты от проникновения влаги и твердых частиц IP-54 по ГОСТ 14254.

Стойка ПА крепится к полу и стенке аппаратного отсека. При эксплуатации стойка ПА закрывается на замок и пломбируется. Для внешних соединений используются соединители типа ОНЦ, расположенные на боковой стенке и контакты « ⊥ ». Масса стойки ПА – не более 98 кг.

В стойке на поворотной раме установлены четыре блока:

- блок коммутации БСК;
- блок гальванической развязки БГР;
- блок ввода/вывода БВВ-Р;
- блок согласования БСВ-Р.

Блоки выполнены на базе блочных каркасов ГОСТ 28601.3 с размерами 3U (132.5 × 482,6 × 185мм).

Блоки по направляющим вдвигаются в поворотную раму и крепятся к ней четырьмя винтами М6.

Покрытие каркасов блоков - цинковое электропроводящее, обеспечивающее электрическую связь с рамой. Электрическая связь каркасов с дверью и стенками шкафа выполнена перемычками.

Соединения между блоками и внешними соединителями осуществляется кабелями с соединителями D-Sub, Sec 18, ОНЦ.

Печатные платы блоков выполнены размером 160x100x1,5 мм в соответствии с ГОСТ 28601.3-90.

Платы вдвигаются в блоки по направляющим и стыкуются с соединителями типа GDS-A на кросс-плате, где происходит соединение плат между собой. Лицевые панели плат с ЭРИ крепятся к каркасам блоков винтами М2,5. Каждая плата имеет свою маркировку, а на каркасах блоков маркируется место её установки.

На кросс-платах блоков установлены соединители типа D-Sub для соединения блоков между собой и соединители типа ОНЦ для подключения внешних кабелей.

Блоки закрыты крышками.

5.2 Конструирование и изготовление печатной платы

5.2.1 Требования к печатной плате

Печатная плата (ПП) должна соответствовать ГОСТ 23752-79 группа жесткости 2 и ОСТ 92-0400-69, которыми устанавливаются требования к:

- самим печатным платам (ПП);
- основанию ПП;
- проводящему рисунку;
- печатным проводникам: контактным площадкам и концевым печатным контактам; металлизированным отверстиям; экранам;
- маркировочным знакам;
- электрическим параметрам;
- климатическим воздействиям.

Стандарты также определяют правила приёмки ПП, правила испытаний, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения ПП.

Размеры элементов конструкции должны соответствовать ГОСТ Р 53429-2009 и РД 50-708-91, которыми определяются:

- размеры печатных плат;
- шаг координатной сетки;
- размеры элементов конструкции;
- позиционные допуски расположения элементов конструкции;
- электрические параметры.

Требования к материалу изготовления ПП должны соответствовать ГОСТ 26246.5-89, который устанавливает требования к фольгированному медью слоистому листовому электроизоляционному материалу нормированной горючести на основе стеклоткани, пропитанной эпоксидным связующим, толщиной от 0,5 до 6,4 мм. Плата печатная (плакат № 7).

5.2.2 Конструкция печатной платы

Для платы СВУ используем двустороннюю печатную плату с металлизированными монтажными и переходными отверстиями на основе стеклотекстолита СФ-2Г-35-1,5 ГОСТ 10316-78.

Двусторонняя печатная плата имеет одно основание, на обеих сторонах которого выполнены проводящие рисунки, и все требуемые электрические контакты двух сторон, обеспечиваются преимущественно сквозными металлизированными отверстиями. Конфликты пересекающихся соединений решаются переносом конфликтующей трассы на другую сторону печатной платы с использованием металлизированных отверстий. Такое отверстие для переноса трассы называют переходным, в отличие от монтажного. При этом конструкция переходного отверстия может быть произвольной, а монтажного по нормам формирования паяного узла.[11]

Металлизированные отверстия выполняют роль монтажного элемента или межслойного соединения. Диаметры сквозных монтажных отверстий для выполнения нормальных условий пайки должны быть на 0,2...0,4 мм больше диаметра вывода радиоэлемента. Вместе с этим гальваническое покрытие получается удовлетворительным при определенном соотношении между диаметром отверстия и толщиной платы. Это соотношение связано с рассеивающей способностью электролитов и, отчасти, с режимами гальванического осаждения. Переходные сквозные отверстия должны быть отделены от монтажных контактных площадок, чтобы предотвратить вытекание припоя с монтажных поверхностей.

Неглубокие глухие отверстия и тем более металлонаполненные глухие отверстия могут выполняться в монтажных контактных площадках.

В процессе эксплуатации ПП, в составе аппаратуры металлизация отверстий постоянно испытывает переменные во времени термомеханические напряжения, вызванные разностью в термическом расширении меди и диэлектрического основания. Устойчивость к термомеханическим нагрузкам

обеспечивается соответствующей толщиной и пластичностью металлизации отверстий. ГОСТ 23752 устанавливает среднее значение толщины медной металлизации в отверстии 25 мкм при возможном минимальном значении 20 мкм. Это значение толщины металлизации установилось в процессе многолетней практики изготовления и эксплуатации ПП с отношением толщины ПП к диаметру отверстия 1...3. Действительно, анализ отказов металлизированных переходных отверстий, не заполненных припоем, показывает, что при толщине металлизации около 7 мкм отказ соединения неизбежно возникает, при толщине 15 мкм вероятность отказа примерно 0,9. И только толщина 20 мкм обеспечивает надежность соединений в течение длительного периода эксплуатации аппаратуры. Поэтому основное условие гарантий надежности соединений по металлизированному отверстию состоит в том, что толщина медного гальванопокрытия без дефектов не должна быть менее 20...25 мкм. Чтобы не допустить дефектов металлизации в виде незначительных не металлизированных участков, создающих очаги повышенной концентрации напряжений, толщину металлизации увеличивают до 30...35 мкм.

Металлизация монтажных отверстий участвует в процессе теплопередачи при пайке. Поэтому для удовлетворительного качества пайки, желательно, чтобы толщина металлизации была тем больше, чем глубже сквозное отверстие. Дефекты металлизации в виде кольцевых утончений или трещин неизбежно приводят к снижению качества пайки, так как создают заметные препятствия для теплопереноса.

Увеличение толщины печатной платы сверх отношения толщины к диаметру 4:1 приводит к значительным осложнениям в обеспечении надежности металлизированных отверстий, так как они менее устойчивы к воздействию термомеханических напряжений. [11]

Металлизированные отверстия характеризуются высокими коммутационными свойствами, повышенной прочностью соединения вывода

навесного элемента с проводящим рисунком платы и позволяет уменьшить габаритные размеры платы за счет плотного монтажа навесных элементов.

5.2.3 Изготовление печатной платы

Для изготовления печатной платы выбираем комбинированный позитивный метод.

Комбинированные методы объединяют в себе все приемы изготовления печатных плат, необходимые для изготовления печатных проводников и металлизированных отверстий. В зависимости от последовательности операций формирования печатных проводников и металлизированных отверстий различают комбинированный позитивный метод (используются фотошаблоны – позитивы) и комбинированный негативный (используются фотошаблоны – негативы).

Единственным преимуществом негативного метода на ранних стадиях развития производства печатных плат с металлизированными отверстиями являлась возможность сверления отверстий по сформированному рисунку печатной платы, когда контактные площадки можно было использовать как мишень для ручного сверления отверстия. С появлением высокопроизводительных сверлильных станков с ЧПУ это единственное преимущество негативных методов исчезло.

В позитивном методе травление рисунка происходит после металлизации отверстий, а для соединения металлизируемых отверстий с катодом используется еще не вытравленная фольга, изначально присутствующая на поверхности заготовки.

Схема комбинированного позитивного метода изготовления двусторонних печатных плат с металлизированными отверстиями:

- нарезка технологических заготовок;
- очистка поверхности фольги (дезоксидация);
- сверление отверстий, подлежащих металлизации, на станках с ЧПУ;

– активация поверхностей под химическую металлизацию;
– тонкая химическая металлизация (до 1 мкм);
– предварительное тонкая гальваническая металлизация (до 6 мкм) - «гальваническая затяжка»;
– нанесение и экспонирование фоторезиста через фотошаблон - позитив;
– основная гальваническая металлизация (до 25 мкм внутри отверстий);
– нанесение металлорезиста;
– удаление экспонированного фоторезиста;
– травление обнаженных участков фольги;
– удаление металлорезиста;
– нанесение контактных покрытий на концевые печатные ламели;
– тщательная отмывка платы, сушка;
– нанесение паяльной маски;
– нанесение финишных покрытий под пайку;
– нанесение маркировочных знаков;
– обрезка платы по контуру;
– электрическое тестирование;
– приемка платы — сертификация.

Преимущества:

– возможность воспроизведения всех типов печатных элементов с высокой степенью разрешения;
– защищенность фольгой изоляции от технологических растворов — хорошая надежность изоляции;
– хорошая прочность сцепления (адгезия) металлических элементов платы с диэлектрическим основанием.

Недостатки:

– относительно большая глубина травления (фольга + металлизация затяжки) создает боковой подтрав, ограничивающий разрешающую способность процесса;

– травление рисунка по металлорезисту ограничивает свободу выбора травящих растворов;

– после травления рисунка схемы, металлорезист или осветляют для улучшения паяемости, или удаляют и, после нанесения паяльной маски, осаждают финишные покрытия под пайку. Оба варианта требуют дополнительных капитальных затрат и прямых расходов. [12]

Таким образом, по сравнению с остальными методами схема комбинированного позитивного метода обладает лучшим качеством изготовления, достаточно хорошими характеристиками, и есть возможность реализации металлизированных отверстий.

Разработка печатной платы ведётся с применением системы автоматизированного проектирования (САПР). При этом инженеру необходимо ввести данные ввода, которые содержат следующую информацию:

– Принципиальная электрическая схема. Схема идентифицирует каждый элемент и показывает все электрические соединения. Там, где имеются концевые разъемы или контактные площадки для внешних соединений, все соединения должны быть пронумерованы индивидуально.

– Перечень элементов. В перечне содержится наименование каждого элемента, а также его обозначение и тип.

– Технические требования на геометрические размеры. В требованиях должны содержаться данные о форме и размерах платы, координаты крепежных отверстий, ограничение по высоте навесных элементов. Следует заметить, что программа ЭВМ рассчитана на работу с координатной сеткой, обычно имеющей шаг 0,635 мм, и может поэтому манипулировать только

размерами, кратными шагу, т.е. на 25,4 мм приходится 40 элементов структуры рисунка платы. В некоторых системах эта «разрешающая способность» повышена до 80 или даже 127 элементов структуры на 25,4 мм, последняя цифра соответствует размерам одного элемента структуры 0,2 мм.

– Спецификация платы и ее рисунка. В этой спецификации должен быть указан тип платы — односторонняя или двусторонняя, должны быть указаны отверстия, подлежащие металлизации. Показатели рисунка платы (размеры контактных площадок, ширина проводников, расстояния между проводниками и т. п.) должны соответствовать правилам конструирования, заложенным в программы ЭВМ.

– Технические требования к электрическим параметрам. Требования содержат подробное указание ограничений, накладываемых на размещение элементов, например элементов, чувствительных к температуре, элементов, требующих определенного разнесения для устранения емкостных или индуктивных связей, заземленных участков, проводников, которые должны иметь минимальную протяженность. Чертеж платы СВУ приведен на (плакате № 8).

5.2.4 Расчет надежности платы

Расчет параметров надежности проводится для всей платы СВУ включающую в себя на только плату ПСУ из аппаратуры ПА КСД но и плату питания и плату контроля внешних устройств. Расчет производится по методике, изложенной в [10].

Наиболее вероятными для платы считаются элементные и эксплуатационные отказы, имеющие как внезапный, так и постепенный характер.

Тот факт, что плата находится внутри жесткого металлического корпуса и это значительно уменьшает вероятность его механического повреждения.

Плата не имеет резервирующих элементов.

Неисправность любого из элементов схемы ведет либо к отказу всей платы в целом, либо к частичной потере ее работоспособности, которая отождествляется с отказом всего прибора. Поскольку в составе поездной аппаратуры произведено дублирование канала допустимой скорости, то при выходе из строя одного комплекта поездная аппаратура продолжает работать.

Произведем расчет надежности для платы СВУ.

Интенсивность отказов элементов в зависимости от условий эксплуатации изделия определяется по формуле (5.1):

Интенсивность отказов элементов в зависимости от условий эксплуатации изделия:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} k_1 k_2 k_3 k_4 a_i(T,k_н) \qquad (5.1)$$

где λ_{0i} – номинальная интенсивность отказов

k_1 и k_2– поправочные коэффициенты в зависимости от воздействия механических факторов.

Для железнодорожной аппаратуры: $k_1 = 1,4;\ k_2 = 1,1$

k_3 – поправочный коэффициент в зависимости от воздействия влажности и температуры.

Для влажности 93%; Т= 30 – 40°С $k_3 = 2,5$

k_4 – поправочный коэффициент в зависимости от давления воздуха при нормальном давлении 760 мм.рс.ст = 100 кПа

$k_4 = 1$

$k_1 k_2 k_3 k_4 = 1,4 \cdot 1,1 \cdot 2,5 \cdot 1 = 3,85$

$a_i(T,k_н)$ – поправочный коэффициент в зависимости от температуры

поверхности элемента и коэффициента нагрузки, который, определяется по графикам [12]

Микросхемы: $a_i(T,k_н) = 0,5$

Резисторы: $a_i(T,k_н) = 0,8$

Конденсаторы: $a_i(T,k_н) = 0,6$

Диоды: $a_i(T,k_н) = 1,0$

Транзисторы: $a_i(T,k_н) = 1,6$

Трансформаторы: $a_i(T,k_н) = 2$

Дроссели: $a_i(T,k_н) = 2$

Интенсивность отказов микросхем составит:

$\lambda_{мс} = 0{,}013 \cdot 10^{6} \cdot 3{,}85 \cdot 0{,}5 \cdot 19 = 4{,}7 \cdot 10^{5}$ 1/ч

Интенсивность отказов резисторов составит:

$\lambda_{рез} = 0{,}03 \cdot 10^{6} \cdot 3{,}85 \cdot 0{,}8 \cdot 65 = 6 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Интенсивность отказов конденсаторов составит:

$\lambda_{кон} = 0{,}035 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 \cdot 0{,}6 \cdot 48 = 6 \cdot 10^{-7}$ 1/ч

Интенсивность отказов диодов составит:

$\lambda_{д} = 0{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 \cdot 1 \cdot 21 = 16{,}17 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Интенсивность отказов транзисторов составит:

$\lambda_{тр} = 0{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 \cdot 1{,}6 \cdot 5 = 15{,}4 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Интенсивность отказов трансформаторов составит:

$\lambda_{транс} = 0{,}045 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 \cdot 2 \cdot 1 = 3{,}5 \cdot 10^{-7}$ 1/ч

Интенсивность отказов дросселей составит:

$\lambda_{др} = 0{,}34 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 \cdot 2 \cdot 2 = 5{,}2 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Интенсивность отказов платы составит:

$\lambda_{пл} = 0{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 = 2{,}7 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Интенсивность отказов пайки составит:

$\lambda_{пайки} = 0{,}03 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 = 1{,}2 \cdot 10^{-7}$ 1/ч

Интенсивность отказов вилок составит:

$\lambda_{вил} = 0{,}062 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85 \cdot 8 = 1{,}9 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Интенсивность отказов всей платы:

Интенсивность отказов всей платы определяется по формуле (5.2):

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{10} \lambda_i \qquad (5.2)$$

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{10} \lambda_i$$

$\Lambda = (0{,}47+6+0{,}6+16{,}17+15{,}4+0{,}35+5{,}2+2{,}7+0{,}12+1{,}9) \cdot 10^{6} = 48{,}9 \cdot 10^{-6}$ 1/ч

Среднее время наработки до отказа:

$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{48{,}9 \cdot 10^{-6}}$=*0,02·10^6=20000 час* - что в 2 раза больше чем требуется по ТЗ.

Вероятность безотказной работы для системы без резервирования равна определяется по формуле (5.3):

$$P(t_p) = exp(-\Lambda t_p) \quad (5.3)$$

где t_p – время наработки на отказ принимаем равное 10000 час

$P(t_p) = exp(-48{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot 10000)$ =0,61

В связи с тем, что изделие должно работать без средств кондиционирования при температуре внешней среды до плюс 50°С не менее 24 часов с последующим перерывом не менее 4 часов. Произведём расчёт безотказной работы для t_p = *24 час*

$P(t_p) = exp(-48{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot 24)$ =0,998

6 Охрана труда

6.1 Обслуживание аппаратуры САУ

Анализ и сравнение различных систем автоведения требует рассмотрения изменений условий труда при переходе от одного вида оборудования к другому. Техническое обслуживание по всем видам ремонта осуществляет специально подготовленный персонал.

Перечень работ, проводимых на оборудовании, определяется «техпроцессами» для всех видов ремонта и включает:

– работу на составе в депо (комплексная проверка и ремонт оборудования на головных вагонах);

– работу с демонтированными блоками в ремонтных мастерских.

Работа персонала участка АРС на головном вагоне заключается в проверке работоспособности аппаратуры автоведения от контрольно-измерительного прибора (КИП) для АЛС-АРС (КСАУП) с использованием дополнительных измерительных приборов. По необходимости (заявка или плановый ремонт) производится замена блоков.

Работа на головном вагоне для ПА КСД-М не требует использования КИПа, т.к. аппаратура имеет каналы самотестирования. Других отличий по оперативной работе нет.

Работа обслуживающего персонала в ремонтных мастерских для участка АРС имеет большое значение. Необходимо отдельное помещение, допускающее работу, связанную с пайкой электронных схем.

Для ПА КСД-М в эксплуатационных депо работа по ремонту блоков не производится, т.к. система находится на фирменном обслуживание НИИ ТМ.

6.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов для персонала, занятого обслуживанием аппаратуры ПА КСД-М.

Опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Перечень опасных и вредных факторов определяется в соответствии с государственным стандартом ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» и отраслевыми особенностями.

При проведении работ по обслуживанию и ремонту аппаратуры автоведения персонал может подвергаться воздействию опасных и вредных факторов.

Опасные и вредные производственные факторы, классифицированные в соответствии с «Гигиеническими критериями оценки условий труда N Р2.2.013-07», воздействующие на электромехаников автоведения обслуживающих оборудование на составе, сведены в (табл.6.1).

Опасные и вредные производственные факторы воздействующие на электромехаников по ремонту блоков в депо сведены в (табл.6.2).

Таблицы 6.1 и 6.2 заполнены на основе результатов, полученных при оценке рабочего места по показателям указанным выше и по травм безопасности.

Рассмотрев эти таблицы, проводим оценку изменения условий труда после замены видов оборудования согласно требованиям, изложенным в «Гигиенических критериях оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса».

Условия труда при работе на составах.

Таблица 6.1

Фактическое состояние условий труда на рабочих местах

№	Код Фак-тора	Наименование производственного фактора, единица измерения	ПДК, ПДУ, допуст. уровень	Дата провед. измер.	Фактический уровень производственного фактора	Величина отклонения	Класс условий труда, степень вредности и опасности
1	4.62.	Температура воздуха	24	07.04.17	19,7	0,82	2.
2	4.63.	Скорость движения воздуха	0,2	07.04.17	0,2	1,00	2.
3	4.64.	Влажность воздуха	75	07.04.17	34,5	0,46	2.
4	4.68.	Освещенность рабочей поверхности	300	10.02.17	300	1,00	2.
5		Яркость знака	30	10.02.17	35	1,00	2.
6		Внешнее осв. экрана	100	10.02.17	250	2,50	2.
7	5.00.	Тяжесть		01.06.17			1.
8		Напряженность		01.06.17			3.1
9		Протокол от 01.06.08г. ЦГСЭН					
10	4.57.	Электростатическое поле	0,5	10.02.17	0,1	0,20	2.
11	4.58.	Электрические поля промышленной частоты	25	10.02.17	5	0,20	2.
12	4.59.	Магнитные поля промышленной частоты	250	10.02.17	580	2,32	3.1
13	4.60.	Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (0.01-3МГц)	2,5	10.02.17	0,1	0,04	2.
14			25	10.02.17	3	0,12	2.
15	4.73.	Ионизирующие излучения	1	19.03.17	0,0	0,00	2.

Оценка условий труда:

по степени вредности и опасности: 3,1

по степени травмобезопасности: 1

(Протокол № 03/25 от 15.04.17)

Условия труда в помещении участка автоведения.

Таблица 6.2

Фактическое состояние условий труда на рабочих местах

№	Код Фак-тора	Наименование производственного фактора, единица измерения	ПДК, ПДУ, допуст. уровень	Дата провед. измер.	Факти-ческий уровень произво дствен-ного фактора	Вели-чина откло-нения	Класс условий труда, степень вредности и опасности
1	4.62.	Температура воздуха	24	07.04.17	19,7	0,82	2.
2	4.63.	Скорость движения воздуха	0,2	07.04.17	0,2	1,00	2.
3	4.64.	Влажность воздуха	75	07.04.17	34,5	0,46	2.
4	4.68.	Освещенность рабочей поверхности	150	08.12.17	443	2,95	2.
5	4.71.	Пульсация освещенности	20	08.12.17	18	0,90	2.
6	4.67.	Естественное освещение	0,7	08.12.17	1	1,43	2.
7	5.00.	Тяжесть		01.06.17			2.
8		Напряженность		01.06.17			2.
9		Протокол от 01.06.08г. ЦГСЭН					

Оценка условий труда:

по степени вредности и опасности: 2

по степени травмобезопасности: 1

(Протокол № 03/22;26 от 15.04.17)

6.3 Напряженность трудового процесса

Напряженность труда – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника.

По сфере своей деятельности работникам приходится сталкивать с таким фактором как напряженность трудового процесса. Работнику по обслуживанию аппаратуры ПА КСД из-за отказа аппаратуры приходилось проходить через деповские пути, где он должен соблюдать все меры безопасности при проходе к составу для снятия неисправного блока ПА КСД. Работнику участка САУ необходимо снять неисправный блок с состава взамен установить исправный. Несправный блок относится в цех по ремонту аппаратуры где его разбирают и проводят диагностику с помощью компьютера. Напряженность для работника состоит в том, что испытывает физическую нагрузку, и нагрузку от работы на компьютере. Так же работник несет ответственность за свою работу, где может испытывать эмоциональное и психическое напряжение. Состояние эмоциональной напряженности работника характеризуется временным понижением устойчивости психических и психомоторных процессов, что в свою очередь в изменении вегетативных реакций и внешних проявлений эмоций. Возникает и развивается она в связи с различными эмоциогенными, психогенными, стрессогенными и другими факторами. Но с появлением новой аппаратуры ПА КСД-М работнику, по обслуживанию аппаратуры, достаточно взять с собой переносной компьютер (ноутбук) пройти на состав с неисправным блоком подключиться и с помощью программ устранить неисправность. Таким образом напряженность для работника по обслуживанию аппаратуры ПА КСД-М уменьшилась.

6.4 Расчёт класса условий труда по показателям напряженности трудового процесса

Интеллектуальные нагрузки:

для АРС – решение сложных задач с выбором по известным алгоритмом – класс3,1;

для ПА КСД-М – решение простых задач по инструкции – класс 2.

Сенсорные нагрузки:

Длительность сосредоточенного наблюдения (в % от смены):

для АРС – 26-50% класс 2;

для ПА КСД-М – 26-50% класс 2.

Наблюдение за экранами видеотерминалов (часов в смену):

для АРС 3-4 класс 3,1;

для ПА КСД-М 2-3 класс 2.

Эмоциональные нагрузки. Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибок.

для АРС – класс3,1;

для ПА КСД-М – класс 2.

Монотонность нагрузок (число элементов, необходимых для реализации простого задания):

для АРС - 5 класс 2;

для ПА КСД-М – 2 класс 1.

Результаты сведены в таблицу 6.3

Сравнительный анализ условий труда

Таблица 6.3

№	Код Фак-тора	Наименование производственного фактора	Величина производственного фактора	Класс условий труда, степень вредности и опасности	Величина производственного фактора	Класс условий труда, степень вредности и опасности
			Обслуживание АРС		Обслуживание ПА-М КСД	
1	4.62.	Температура воздуха	19,7	2.	19,7	2.
2	4.63.	Скорость движения воздуха	0,2	2.	0,2	2.
3	4.64.	Влажность воздуха	34,5	2.	34,5	2.
4	4.68.	Освещенность рабочей поверхности	300	2.	300	2.
5		Яркость знака	35	2.	35	2.
6		Внешнее осв. Экрана	250	2.	250	2.
7	5.00.	Тяжесть		1.		1.
8		Напряженность		3.1		2
9		Протокол от 01.06.99г. ЦГСЭН				
10	4.57.	Электростатическое поле	0,1	2.	0,1	2.
11	4.58.	Электрические поля промышленной частоты	5	2.	5	2.
12	4.59.	Магнитные поля промышленной частоты	580	3.1	580	3.1
13	4.60.	Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (0.01-3МГц)	0,1	2.	0,1	2.
14	4.73.	Ионизирующие излучения	0,0	2.	0,0	2.

6.5 Требования к персоналу, обслуживающему поездную аппаратуру

Оперативное обслуживание электроустановок до 1000В может осуществляться одним или несколькими лицами [18].

К выполнению работ по обслуживанию поездных электронных систем допускаются рабочие не моложе 18 лет, прошедшие инструктаж, обучение безопасным приемам работы и проверку знаний по охране труда.

По характеру и времени проведения инструктажи подразделяются:

— вводный;

— первичный на рабочем месте;

— повторный;

— внеплановый;

— целевой.

Вводный инструктаж проводят со всеми вновь принимаемыми на работу в электродепо Метрополитена. Инструктаж проводит инженер по охране труда, в кабинете по охране труда или специально оборудованном помещении с использованием современных технических средств обучения и наглядных пособий.

Первичный инструктаж проводит мастер на рабочем месте, до начала производственной деятельности со всеми вновь принятыми на работу или переводимыми из одного подразделения в другое.

Повторный инструктаж проходят рабочие индивидуально или группой работников, обслуживающих однотипное оборудование и в пределах общего рабочего места, по программе первичного инструктажа на рабочем месте и в полном объеме.

Внеплановый инструктаж проводят:

— при введении в действие новых правил, инструкций по охране труда;

— при изменении технологического процесса, приспособлений и инструмента;

— при нарушении работниками требований безопасности труда, которые могут привести или привели к травме, аварии;

— по требованию органов надзора.

Целевой инструктаж проводят при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями по специальности.

Все виды инструктажа и результаты проверки знаний по охране труда оформляются в журнале установленной формы.

Персонал участка ПЭУ при производстве работ обязан:

— проверить исправность инструмента, оборудования, приспособлений и защитных средств перед началом производства работ;

— заниматься только той работой, которая поручена мастером или предусмотрена планом производственного занятия;

— отключать и ограждать в установленном порядке неисправные устройства и оборудование, угрожающие безопасности обслуживающего персонала;

— не допускать на рабочие места лиц, не имеющих отношения к порученной работе;

— соблюдать требования предупредительных знаков, сигналов и надписей.

Лица, обслуживающие аппаратуру ПА КСД-М единолично или в бригаде, должны иметь группу по электробезопасности не ниже третьей.

Работу по обслуживанию ПА КСД-М в электродепо на составе с точки зрения электробезопасности следует отнести к работе в помещениях с повышенной опасностью. При работе в кабине машиниста необходимо выполнять систему организационных и технических мероприятий, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока.

Технические мероприятия:

— производство необходимых отключений;

— вывешивание запрещающих плакатов;

— проверка отсутствия напряжения;

— заземление;

— ограждение рабочего места, вывешивание плакатов.

Организационные мероприятия:

— оформление наряда-допуска на работы с повышенной опасностью;

— допуск к работе;

— надзор во время работы, по обслуживанию аппаратуры САУ;

— оформление перерывов в работе, переводов на другое рабочее место, окончание работы.

Работа в кабине машиниста по обслуживанию САУ относится к текущей эксплуатации. Это проведение оперативным (оперативно-ремонтным) персоналом самостоятельно на закрепленном за ним участке в течение одной смены работ по перечню.

Среди технических средств по обеспечению безопасных условий работы по обслуживанию электроустановок нужно отметить установку защитного заземления. В электроустановках напряжением до 1000 В, расположенных в помещениях с повышенной опасностью при питании их от сети с изолированной нейтралью, заземлению подлежат металлические части электроустановок и оборудования, которые могут оказаться под напряжением. Заземляющее устройство испытывается при вводе в эксплуатацию и периодически в процессе эксплуатации.

6.6 Расчет молниезащиты здания цеха

Молниезащита- комплекс защитных мер от разрядов атмосферного статического электричества.

Молниезащита защищает от прямого удара молнии и от заноса в здание атмосферных перенапряжений по проводам воздушных линий низкого напряжения.

В целях обеспечения производственного здания от прямого попадания молний, устанавливают систему молниезащиты.

Габариты производственного здания (цеха)

S = 21 м - ширина здания

L = 37 м – длина здания

h_x= 6 м – максимальная высота

n = 4,5 – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности

1. Ожидаемое количество поражений объекта молнией.

$$N = [(s + 6 * h) * (L + 6 * h) - 7{,}2 * h^2] * n * 10^{-6} = 0{,}017$$

2. т.к. N≤1 , то принимаем зону защиты типа Б

Принимаем $h_м$=30 м, тогда

3. Зная необходимый тип зоны защиты и размеры объекта, выбираем тип молниеотвода

$L \approx S$ - одиночный стержневой

4. Выписываем геометрические размеры зоны защиты типа Б:

где h_O – высота конуса зоны защиты; h_M – высота стержневого молниеотвода; r_X – радиус зоны защиты на уровне земли; r_O – радиус зоны защиты на высоте защищаемого объекта; h_X – высота защищаемого объекта.

$$h_0 = 0{,}92 * h_м = 0{,}92 * 30 = 27{,}6 \text{ м}$$

$$r_0 = 1{,}5 * h_м = 1{,}5 * 30 = 45 \text{ м}$$

$$r_x = 1{,}5 * \left(h_м - \frac{h_x}{0{,}92}\right) = 1{,}5 * \left(30 - \frac{6}{0{,}92}\right) = 35{,}2 \text{ м}$$

Таким образом безопасному проведению работ по обслуживанию электроустановок напряжением до 1000В способствует применение защитных средств. Основными защитными средствами являются диэлектрические перчатки и инструмент с изолирующими рукоятками. Дополнительными защитными средствами являются: диэлектрические калоши, коврики, подставки, изолирующие штанги, а также плакаты по электробезопасности. Из таблицы 6.4.1 видно, что замена аппаратуры на составах ведет к снижению класса условий труда по показателям напряженности трудового процесса. Это ведет к снижению утомляемости обслуживающего персонала. Повышает производительность труда и качество выполняемой работы. На основании расчетов, определили необходимые размеры одиночного тросового молниеотвода, который позволяет обеспечить защиту от прямого удара молнии и от заноса в здание атмосферных перенапряжений.

7 Экономическая часть

7.1 Предисловие

В данном разделе производится расчет эффективности внедрения платы СВУ с точки зрения затрат на разработку платы, эксплуатационных расходов по её использованию, проводится сравнительный экономический анализ с прототипом с учетом того, что плата СВУ аппаратуры ПА КСД-М заменяет собой 3 платы аппаратуры ПА КСД. Расчеты в данном разделе выполняем согласно [13].

7.2 Расчет себестоимости. Определение оптовой цены

Расчет себестоимости устройства можно осуществить с помощью расчетно-аналитического метода. Его сущность сводится к тому, что прямые затраты на единицу продукции определяются путем нормативного расчета себестоимости проектируемого устройства по статьям калькуляции. По существующей классификации затрат принят следующий состав статей калькуляции:

1. Сырье и материалы.
2. Покупные комплектующие изделия.
3. Основная заработная плата производственных рабочих.
4. Дополнительная заработная плата производственных рабочих.
5. Отчисления на социальные нужды с заработной платы производственных рабочих.
6. Цеховые расходы.
7. Общезаводские расходы.
8. Полная себестоимость.
9. Оптовая цена.

7.2.1 Сырьё и материалы

Эта статья включает в себя затраты на основные материалы, расходуемые в нашем случае, на изготовление печатного узла.

Расходы материалов в расчете на одну печатную плату сведены в таблицу 7.1

Таблица 7.1

Расходы материалов в расчете на одну печатную плату

Наименование материалов	**Марка или типоразмер ГОСТ, ТУ**	**Ед. изм**	**Норма расх. на 1 изд.**	**Цена на ед. измер.**	**Общая сумма затрат, руб.**
Стеклотекстолит	СФ-2Н-35 ГОСТ 10316-78	кг	0,046	387	17,80
Припой	ПОС-61 ГОСТ 21930-76	кг	0,01	739	7,39
Флюс	ФКС Н0064-63	кг	0,002	122	0,24
Лак	УР-231 ТУ 6-21-14-90	кг	0,011	320	3,52
Спирт	Марки А ГОСТ 19299-71	кг	0,013	126	1,63
Хлористое железо	ГОСТ 4147-74	кг	0,02	200	4
				Итого:	**34,58**

В связи с тем, что размеры плат аналога такие же, как и у проекта, то у аналога расходы на стеклотекстолит увеличиваются в 3 раза. Таким образом, расходы на аналог составят 70,18 руб.

Расходы на основные и вспомогательные материалы рассчитываются по формуле (7.1):

$$C_{\text{м0}} = (1 + K_{\text{тзр}}) \sum_{i=1}^{N_m} \text{Ц}_{mi} \cdot q_{mi}, \qquad (7.1)$$

где N_m – число видов материалов расходуемых на изготовление устройства.

$K_{\text{тзр}}$– коэффициент учета транспортно – заготовительных расходов.

$$\left(K_{\text{тзр}} = 0{,}03 - 0{,}15\right)$$

Ц_{mi} – цена единицы i – го материала, руб./кг.

$C_{м0} = (1 + 0{,}03) \cdot 34{,}58 = 35{,}62$ руб. – аналог

$C_{м0} = (1 + 0{,}03) \cdot 70{,}18 = 72{,}29$ руб. – прототип

7.2.2 Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперирующихся предприятий

Эта статья включает в себя затраты на приобретенные готовые изделия и полуфабрикаты.

Затраты на покупные комплектующие и полуфабрикаты рассчитываются по формуле (7.2):

$$C_{п} = (1 + K_{тзр}) \sum_{i=1}^{M_{п}} Ц_{ni} \cdot q_{ni} \ , \qquad (7.2)$$

где $M_{п}$ – число типов изделий и полуфабрикатов;

$K_{тзр}$ – коэффициент учета транспортно – заготовительных расходов

$(K_{тзр} = 0{,}03 - 0{,}15)$;

$Ц_{ni}$ – цена каждого i – го полученного изделия;

q_{ni} – количество покупных изделий и полуфабрикатов i – го вида.

Составим таблицу 7.2 для расчета стоимости покупных комплектующих изделий для аналога.

Составим таблицу 7.3 для расчета стоимости покупных комплектующих изделий для проекта.

Таблица 7.2

Стоимость покупных комплектующих изделий аналога

Наименование	Обозначение	Расхода на изделие	Цена за единицу, руб.	Сумма на изделие, руб
1	2	3	4	5
Конденсатор	К-10-17б-Н90-0	47	5,76	270,72
Конденсатор	SR 21 series	20	1,60	32,00
Конденсатор	Axial TAA series	3	34,00	102,00
Конденсатор	682 series	17	7,09	120,53
Конденсатор	К53-1А-20В	2	24,96	49,92

продолжение табл.7.2

1	2	3	4	5
Конденсатор	К71-7-250В	2	24,00	48,00
Микросхема	544УД1А	10	220,32	2203,20
Микросхема	525ПС2А	2	320,00	640,00
Микросхема	TAP2423	1	642,00	642,00
Микросхема	BXA15-24S05-F	1	306,55	306,55
Микросхема	BXA3-24S05-F	1	306,55	306,55
Микросхема	HCPL4100	1	274,05	274,05
Микросхема	HCPL4200	4	269,95	1079,80
Микросхема	HCPL2631	8	99,02	792,16
Микросхема	TEG2412	2	96,48	192,96
Микросхема	HCPL7601	1	161,44	161,44
Сборка резисторная	0,125W-470 SIL	2	2,90	5,80
Дроссель	Miniature Radial 22mkH RS	1	140,00	140,00
Резистор	Metal Film 0,125W	5	2,58	12,90
Резистор	Carbon Film 0,33W	6	5,10	30,60
Резистор	СП5-2ВБ-0,5Вт	1	136,80	136,80
Резистор	Carbon Film 0,25W	35	5,10	178,50
Резистор подстроечный	3299W 500mW	7	66,00	462,00
Резистор	С2-29В-0,125	9	15,48	139,32
Диод	HLMP3000	5	6,20	31,00
Диод	2Д522Б	10	29,64	296,40
Стабилитрон	P6KE6V8A6,8V	1	11,47	11,47
Стабилитрон	Д818И	2	97,75	195,50
Транзистор	2N3702 RS	5	70,00	350,00
Транзистор	КП302АМ	1	70,68	70,68
Вилка	DIN 41612 GdsA-C 32M 09 03	2	43,45	86,90
			Итого	**9369,75**

Таблица 7.3

Стоимость покупных комплектующих изделий проекта

Наименование	Обозначение	Расхода на изделие	Цена за единицу, руб.	Сумма на изделие, руб
1	2	3	4	5
Конденсатор	0805B104Z500N	29	0,60	17,40
Конденсатор	К71-7-250В	4	11,52	46,08
Конденсатор	0805B102M500N	2	0,65	1,30
Конденсатор	B45196H6106K30	2	0,65	1,30

Продолжение таблицы 7.3

1	2	3	4	5
Конденсатор	0805N560G500N	1	0,51	0,51
Конденсатор	0805N561G500N	1	0,55	0,55
Конденсатор	0805B511K500N	1	0,58	0,58
Конденсатор	B45196H3476K30	4	0,70	2,80
Микросхема	MAX5420BEUA	1	122,44	122,44
Микросхема	OP282GS	2	45,31	90,62
Микросхема	OP482GS	2	79,51	159,02
Микросхема	TEN8-2411	1	1061,46	1061,46
Микросхема	TME2405S	3	226,22	678,66
Микросхема	TME2412S	2	220	440,00
Микросхема	PCA82C250T	1	46,08	46,08
Микросхема	HCPL-060L	2	87,89	175,78
Микросхема	HCPL-4200	4	130,92	523,68
Микросхема	HCPL-4100	1	274,05	274,05
Индикатор	HLMP-1700	5	5,18	25,90
Индикатор	551-1307	10	25,30	253,00
Дроссель	SDR0604-221K	1	35,50	35,50
Дроссель	SDR0604-470K	1	10,76	10,76
Резистор	CR0805-FX-1200	1	1,04	1,04
Резистор	CR0805-FX-2700	2	1,56	3,12
Резистор	CR0805-FX-43R0	6	0,82	4,92
Резистор	CR0805-FX-1001	2	1,13	2,26
Резистор	CR0805-FX-5601	5	1,10	5,50
Резистор	CR0805-FX-4751	1	0,86	0,86
Резистор	C2-29B-0,125	18	3,26	58,68
Резистор	CR0805-FX-1002	10	1,64	16,40
Резистор	CR0805-FX-4701	1	1,15	1,15
Потенциометр	3296W-1-203	1	88,76	88,76
Резистор	CR0805-FX-1002	10	1,15	11,50
Резистор	CR0805-FX-2002	2	6,62	13,24
Резистор	CR0805-FX-3001	1	0,52	0,52
Резистор	CR0805-FX-1003	1	1,56	1,56
Резистор	CR0805-FX-3000	1	0,52	0,52
Резистор	CR0805-FX-4700	10	0,64	6,40
Диод	BZX384-B3V3	3	1,56	4,68
Диод	BAT54SW ST	3	3,31	9,93
Транзистор	2N3702	5	39,14	195,70
Вилка	PLD-60	1	4,45	4,45

Продолжение таблицы 7.3

1	2	3	4	5
Вилка	С 64М 09 03 164 6921	1	21,49	21,49
Вилка	PLS-2	3	0,80	2,40
Вилка	PLD-20	1	5,76	5,76
Вилка	PLD-40	1	3,40	3,40
Вилка	PLS-10	1	4,49	4,49
			Итого	**4436,20**

Отсюда найдём:

$C_{\text{п}} = (1 + 0{,}03) \cdot 9369{,}75 = 9650{,}84$ руб. - для аналога

$C_{\text{п}} = (1 + 0{,}03) \cdot 4436{,}20 = 4569{,}29$ руб – для проекта

Таким образом, затраты на приобретенные готовые изделия для проекта на 5081,55 руб. ниже чем для аналога.

7.2.3 Основная заработная плата производственных рабочих

Эта статья включает в себя основную заработную плату, как производственных рабочих, так и ИТР, и других категорий работников за работу, непосредственно связанную с изготовлением продукции.

Основная заработная плата определяется прямым путем по формуле (7.3):

$$З_{\text{о}} = З_{\text{т}} + З_{\text{п}}, \qquad (7.3)$$

где $З_{\text{т}}$ – заработная плата по тарифу

$З_{\text{п}}$ – доплаты по сдельно и повременно-премиальным системам (20%).

Заработная плата по тарифу определяется по формуле (7.4):

$$З_{\text{т}} = \sum_{i=1}^{n} t_i \cdot C_{1i} \cdot K_{npi} \qquad (7.4)$$

где t_i – трудоёмкость i-ой операции (виды работ);

C_{1i} – тарифная ставка первого разряда;

K_{npi} – тарифный коэффициент, соответствующий разряду работ по i-ой операции;

n – количество видов работ (операций).

Тарифная ставка для первого разряда:

$$C_{1i} = 187{,}5 \text{ руб/час};$$

Тарифный коэффициент для третьего разряда:

$$K_{npi} = 1{,}33$$

Тарифный коэффициент для четвёртого разряда:

$$K_{npi} = 1{,}5$$

Составим таблицу 7.4 для расчета заработной платы производственным рабочим:

Таблица 7.4

Расчёт заработной платы производственных рабочих

Наименование операций	**Разряд работы**	**Норма времени**		**Часовая тарифная ставка руб./час**	**Заработная плата, руб.**
		Деталь/час	**Изд./час**		
Сверление отверстий	4	0,2	0,8	281,2	224,9
Травление	3	0,1	0,2	249,3	49,8
Металлизация и трассировка	4	0,3	0,6	281,2	168,7
Покрытие лаком	3	0,5	1	249,3	249,3
Сборка	3	0,2	0,8	249,3	199,4
Монтаж	3	0,5	1	249,3	249,3
Электр. проверка	4	0,01	0,02	281,2	5,6
Проверка	4	-	0,05	281,2	14,06
Регулировка	4	-	0,5	281,2	140,6
Контроль ОТК	4	-	0,8	281,2	224,9
				Итого:	1527

С учётом изготовления одной платы основная заработная плата производственных рабочих, ИТР и других категорий работников составила 1527 рубля, следовательно, для изготовления 3 плат аппаратуры ПА КСД заработная плата составит 1527·3= 4581,00 руб.

7.2.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата принимается в размере 15% от основной и составит:

$З_д = 0{,}15 \cdot 1527 = 229$ руб – для проекта

$З_д = 0{,}15 \cdot 4581 = 687{,}15$ руб – для аналога

В дополнительную заработную плату производственных рабочих входят выплаты за очередные и дополнительные отпуска, перерывы в работе кормящих матерей и т.д.

7.2.5 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальное страхование принимаются в размере 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы рабочих по формуле (7.5):

$$З_{ос} = 0{,}30 \cdot (З_о + З_д) \quad (7.5)$$

$З_{ос} = 0{,}30 \cdot (1527 + 229) = 526{,}8$ руб. – для проекта

$З_{ос} = 0{,}30 \cdot (4581 + 687{,}15) = 1580{,}4$ руб. – для аналога.

7.2.6 Цеховые расходы

Цеховые расходы связаны с организацией производства в данном цехе и управления им. В их состав включаются расходы на содержание общецехового персонала, зданий, сооружений и инвентарь, оборудования, по охране труда и т.д.

Цеховые расходы принимаются равными 150% от основной заработной платы производственных рабочих.

$$С_{цр} = 1,5 \cdot З_о = 1,5 \cdot 1527 = 2290,5 \text{ руб.} – \text{для проекта}$$

$$С_{цр} = 1,5 \cdot З_о = 1,5 \cdot 4581 = 6871,5 \text{ руб.} – \text{для аналога}$$

Суммарные затраты, расходуемые цехом на изготовление устройства рассчитываются по формуле (7.6):

$$С_{цз} = С_{мо} + С_п + С_э + З_о + З_д + З_{ос} + С_{цр}, \quad (7.6)$$

где: $С_э$ – затраты на электроэнергию (включены в цеховые расходы)

$$С_{цз} = 35,62 + 4569,29 + 1527 + 229 + 526,8 + 2290,5 =$$

$$= 9178,21 \text{ руб.} – \text{для проекта}$$

$$С_{цз} = 72,29 + 9650,84 + 4581 + 687,15 + 1580,4 + 6871,5 =$$

$$= 23443,18 \text{ руб.} – \text{для аналога}$$

7.2.7 Общезаводские расходы

Расходы на освоение и подготовку производства рассчитываются в процентах от основной заработной платы производственных рабочих и составляют 70%.

$$С_{ор} = 0,7 \cdot З_о = 0,7 \cdot 1527 = 1068,9 \text{ руб.} – \text{для проекта}$$

$$С_{ор} = 0,7 \cdot З_о = 0,7 \cdot 4581 = 3206,7 \text{ руб.} – \text{для аналога}$$

7.2.8 Полная себестоимость

Полная себестоимость состоит из суммы заводской ($С_{зс}$) и внепроизводственных расходов ($С_{вр}$) формула (7.7):

$$С_{полн} = С_{зс} + С_{вр}, \quad (7.7)$$

где: $С_{зс}$ – заводская себестоимость, включает цеховую себестоимость и сумму общезаводских расходов в расчете на один прибор.

$$С_{зс} = С_{цз} + С_{ор} = 9178,21 + 1068,9 = 10247,1 \text{ руб.} – \text{для проекта}$$

$С_{зс} = С_{цз} + С_{ор} = 23443{,}18 + 3206{,}7 = 26649{,}8$ руб. – для аналога

$С_{вр}$ – внепроизводственные расходы, включают затраты на реализацию продукции (тара, упаковка, доставка, командировки и др.).

Сумма внепроизводственных расходов составляет 4 – 15% от заводской себестоимости продукции.

$С_{вр} = 0{,}1 \cdot С_{зс} = 0{,}1 \cdot 10247{,}1 = 1024{,}7$ руб. – для проекта

$С_{вр} = 0{,}1 \cdot С_{зс} = 0{,}1 \cdot 26649{,}8 = 2664{,}9$ руб. – для аналога

Полная себестоимость составит:

$С_{полн} = 10247{,}1 + 1024{,}7 = 11271{,}8$ руб. – для проекта

$С_{полн} = 26649{,}8 + 2664{,}9 = 29314{,}7$ руб. – для аналога

7.2.9 Оптовая цена изделия

Оптовая цена изделия, обеспечивающая возмещение издержек предприятия-изготовителя и получение прибыли не ниже отраслевой нормы по аналогичной продукции определяется по формуле (7.8):

$$Ц_о = С_{полн} \cdot (1 + П/100), \quad (7.8)$$

где $П$ – плановый процент прибыли $(П = 30\%)$.

$Ц_о = 11271{,}8 \cdot (1 + 0{,}3) = 14653{,}3$ руб. – для проекта

$Ц_о = 29314{,}7 \cdot (1 + 0{,}3) = 38109{,}1$ руб. – для аналога

Результаты расчета себестоимости изготовления и оптовой цены сводим в табл. (7.5):

Таблица 7.5

Результаты расчета себестоимости изготовления и оптовой цены

Наименование статей затрат	Сумма, руб.		В процентах от полной себестоимости	
	проект	аналог	проект	аналог
Сырьё и материалы	35,62	72,29	0,5	0,5
Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты	4569,29	9650,84	66,9	60,4
Топливо и энергия на технологические	Учтены в цеховых расходах			
Основная заработная плата производственных рабочих	1527,0	4581,0	6,3	8,1
Дополнительная заработная плата производственных рабочих	229,0	687,15	0,9	1,2
Отчисление на социальное страхование	526,8	1580,4	2,2	2,8
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования цеха	Включаются в общехозяйственные расходы			
Цеховые расходы	2290,5	6871,5	9,5	12,2
Цеховая себестоимость	9178,21	23443,18	86,5	85,2
Общезаводские расходы	1068,9	3206,7	4,4	5,7
Производственная себестоимость	10247,1	26649,8	90,9	90,9
Внепроизводственные расходы	1024,7	2664,9	9,1	9,1
Полная себестоимость	11271,8	29314,7	100	100
Плановая прибыль	3381,5	8794,4	30	30
Оптовая цена	14653,3	38109,1		

7.3 Расчёт эксплуатационных расходов

Текущие расходы эксплуатации устройств радиоэлектронной аппаратуры включают:

- стоимость обслуживания аппаратуры;
- затраты на ремонт;
- стоимость потребляемой электроэнергии;

7.3.1 Стоимость обслуживания аппаратуры

В зависимости от наличия или отсутствия специального обслуживающего персонала, расчётно - эксплуатационную аппаратуру принято разделять на обслуживающую или не обслуживающую.

Стоимость обслуживания аппаратуры вытекает из заработной платы обслуживающего персонала, с учетом режима работы и условий загрузки операторов определяется по формуле (7.9):

$$С_{обсл} = З_{обсл} \cdot (1 + К_{косв}/100) \cdot \beta \cdot n_{обс} \cdot в, \quad (7.9)$$

где $З_{обсл}$ – основная з/плата (годовая) для обслуживания устройства:

$К_{косв}$ – процент косвенных расходов, включая дополнительную з/плату и отчисления органам социального страхования (160 – 180)% к основной з/плате:

в – количество смен в сутки ($в = 1$).

β – если несколько устройств ($\beta = 1$).

$n_{обс}$ – количество операторов ($n_{обс} = 1$)

При условии что:

$в = 1; \beta = 1; n_{обс} = 1; З_{обсл} = 3964644$ руб, то стоимость обслуживания аппаратуры:

$$С_{обсл} = 14575{,}90 \cdot 1{,}7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 24779{,}03 \text{ руб.}$$

7.3.2 Затраты на ремонт

Годовая стоимость затрат на текущий ремонт складывается $С_р$ складывается из затрат на проведение плановых ремонтов и профилактических работ, а также затрат на устранение отказов, вызванных недостаточной надежностью устройства определяется по формуле (7.10):

$$С_р = С^{пл}{}_р + С^{отк}{}_р, \quad (7.10)$$

Расчет затрат на проведение плановых профилактических работ производится по формуле (7.11):

$$С^{пл}{}_р = \sum_{i=1}^{1} n^{пл}{}_i \cdot r^{пл}{}_i, \quad (7.11)$$

где: $n^{пл}{}_i$ – количество плановых ремонтов i – го вида;

$r^{пл}{}_i$ – затраты на проведение одного планового ремонта;

i – количество видов плановых ремонтов.

Стоимость одного планового ремонта данного вида определяется по формуле (7.12):

$$r^{\text{пл}}{}_i = S_i + З^{\text{рем}}{}_i, \qquad (7.12)$$

где $S_i -$ стоимость невосстанавливаемых элементов электронной аппаратуры, заменяемого в процессе одного планового ремонта $i -$ го вида;

$З^{\text{рем}}{}_i -$ заработная плата ремонтных рабочих при проведении одного планового ремонта $i -$ го вида;

$S_i -$ принимают равной стоимости покупных изделий и полуфабрикатов.

$S_i = 4569{,}29$ т. к. гарантийный срок , то $С^{\text{отк}}{}_{\text{р}} = 0$

$n^{\text{пл}}{}_i = 1,\ i = 1,\ З^{\text{рем}}{}_i = 892{,}9$ руб.

Тогда

$С^{\text{пл}}{}_{\text{р}} = r^{\text{пл}}{}_i = 4569{,}29 + 892{,}9 = 5462{,}2$ руб.

7.3.3 Стоимость потребляемой электроэнергии

Так как потребляемая мощность части платы составляет $0{,}15$ Вт., и стоимость 1 КВт/час $= 4{,}61$ руб., время работы аппаратуры 22 часа в сутки, то за год стоимость потребляемой энергии составит:

$$С_э = \frac{0{,}15 \cdot 22 \cdot 365}{1000} \cdot 4{,}61 = 5{,}5 \text{ руб.}$$

Для аналога:

Потребляемая мощность от сети: 0,7 Вт и при тех же условиях:

$$С_э = \frac{0{,}7 \cdot 22 \cdot 365}{1000} \cdot 4{,}61 = 25{,}9 \text{ руб.}$$

7.3.4 Эксплуатационные расходы проектируемого устройства

Суммарные эксплуатационные расходы проекта определяются по формуле (7.13):

$$С_{эр} = С_{обсл} + С^{пл}{}_{р} + С_{э}, \quad (7.13)$$

$$С_{эр} = 24779{,}03 + 5462{,}2 + 25{,}9 = 30267{,}13 \text{ руб.}$$

Так как аналог уже находится в эксплуатации, то число плановых ремонтов увеличивается в 3 раза,

$$С^{пл}{}_{р} = 3 \cdot С^{пл}{}_{р} = 3 \cdot 5462{,}2 = 16386{,}6 \text{ руб.}$$

То суммарные эксплуатационные расходы аналога составят

$$С_{эр} = 24779{,}03 + 16386{,}6 + 25{,}9 = 41191{,}53 \text{ руб.}$$

7.4 Расчёт эффективности от внедрения

Экономия на эксплуатационных расходах составит:

$$\Delta Э = Э^{пр}{}_{эр} - Э^{ан}{}_{эр} = 41191{,}53 - 30267{,}13 = 10924{,}4 \text{ руб.}$$

Рассчитываем приведенные затраты $З_{пр}$. Полагаем их равными полной себестоимости (см. таблицу 7.5):

$$З_{пр} = З_{пр\,полн} = 11271{,}8 \text{руб.}$$

Тогда приведенные затраты проекта могут быть определены как его рыночная стоимость с учетом коэффициента приведения на устаревшую элементарную базу и дизайн.

Полагаем, К = 1,3. Стоимость проекта 12000 руб.

$$З_{ан} = С_{ан} \cdot 1{,}3 = 12000 \cdot 1{,}3 = 15600 \text{ руб.}$$

Расчет годового экономического эффекта можно рассчитать по формуле (7.14):

$$Э = (З_{ан} + К + \Delta Э - З_{пр}) \cdot А, \quad (7.14)$$

где: $А = 30$ – планируемый годовой выпуск устройств;

К – капитальные вложения (при расчете не учитываем)

$$Э = (15600 + 0 + 10924{,}4 - 11271{,}8) \cdot 30 = 457578 \text{ руб.}$$

На одно изделие эффект годовой экономики составит 15252,6 руб.

Выполненные технико – экономические расчеты сводим в таблицу 7.6.

Внедрение в производство разработанного устройства дает экономический эффект, составляющий около 15252 руб. в год. В эту сумму не включена экономическая эффективность от снижения стоимости продукции за счет более качественного контроля над технологическим процессом.

Таблица 7.6

Технико – экономические показатели разработанного устройства

Показатели	**Аналог**	**Проект**
Технические		
Потребляемая мощность, Вт	0,7	0,15
Масса, кг	0,46	0,2
Время наработки на отказ, час.	10000	20000
Габариты	3·(100×160)	100×160
Экономические		
Оптовая цена, руб.	38109,1	14653,3
Эксплуатационные расходы, руб.	41191,53	30267,13
Годовой экономический эффект, руб.		457578