

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный Университет  
(Национальный исследовательский университет)»  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ.  
Заведующий кафедрой  
Н.И. Войтович  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 года

Модернизация конструкции платы коммутации щитка автономного  
управления изделия РСБН-4НМ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-11.03.03.2018.219.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты:  
В. А. Бухарин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 года

Руководитель проекта  
А.А. Прищепа  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 года

Автор проекта  
студент группы КЭ-480  
М.С. Куликова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 года

Нормоконтролер  
М.Д. Романова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 года

Челябинск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1 Постановка задачи.....	12
2 Анализ поставленной задачи .....	13
3 Конструкторский раздел.....	16
3.1 Подбор новой элементной базы .....	16
3.2 Разработка платы коммутации .....	22
3.3 Расчет основных элементов проводящего рисунка.....	23
3.3.1 Основные параметры ПП.....	23
3.3.2 Расчет диаметра металлизированного отверстия.....	24
3.3.3 Расчет минимально допустимой ширины проводников .....	24
3.3.4 Минимальный диаметр контактных площадок.....	25
3.4 Посадочные места. Создание библиотеки.....	27
3.5 Размещение элементов и трассировка ПП .....	29
3.6 Оформление конструкторской документации .....	31
3.7 Монтаж элементов на ПП .....	32
3.8 Расчет надежности узла.....	33
3.9 Расчет резонансной частоты .....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	50

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент основным средством ближней навигации военной и гражданской авиации России и СНГ является всенаправленный азимутально-дальномерный радиомаяк ближней навигации РСБН-4НМ с бортовым оборудованием самолетов типа РСБН-2С. Данный комплекс бортового и наземного оборудования обеспечивает полет воздушного судна по заданному маршруту, постоянное указание его местоположения, а также наземное наблюдение воздушной обстановки, определение координат и обозначение самолетов, использующих систему, с помощью индикаторов кругового обзора (ИКО и ВИКО).

Наземное оборудование системы включает в себя радиомаяк с контрольно-выносным пунктом (КВП), две дизельные электростанции питания радиомаяка и диспетчерский пульт. Кроме того, в комплект радиомаяка может быть включен один или несколько выносных индикаторов кругового обзора (ВИКО). Для размещения аппаратуры радиомаяка использован кузов К2П2.

В кузове размещены два комплекта передающих устройств с устройствами питания и коммутации, включающих в себя шкафы с блоками. По два комплекта приемной, импульсной, контрольной аппаратуры, системы стабилизации скорости вращения азимутальной антенны и аппаратура автоматики находятся в шкафу системном (ШС) ТБИС.468369.004 в виде съемных модулей и плат.

Для приёма и распределения питающих напряжений, поступающих на шкаф системный (ШС) ТБИС.468369.004, и управления комплектами аппаратуры ШС используется плата коммутации щитка автономного управления (ЩАУ). Она также обеспечивает выдачу команд в аппаратуру автоматики в режиме местного управления РЕМОНТ.

В целях программы замены комплектующих иностранного производства на отечественные аналоги в изделии РСБН-4НМ было принято решение модернизировать часть устройств, одним из них является плата коммутации ЩАУ.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

В данной плате используется малая часть элементов иностранного происхождения. В рамках программы импортозамещения, декларированной в России с 2014 года, использование даже такой малой части иностранных элементов недопустимо. Основные принципы при импортозамещения:

- улучшение качества продукции;
- стандартизация;
- техническое регулирование;
- решение вопросов безопасности;
- развитие отечественного рынка.

Также в плате имеются элементы, не разрешенные в использовании в наземной, морской и авиационной аппаратуре военного назначения. Это связано с тем, что на момент разработки устройства не было необходимых компонентов, соответствующих электрическим требованиям. Соответственно было принято решение использовать компоненты с обычной гражданской приемкой «ОТК» с последующей заменой, так как использование элементов с обычной гражданской приемкой в военной аппаратуре крайне не рекомендуется. Изделия с приемкой «ОТК» существенным образом отличаются от продукции, стандартизированной по категории «приемка 5». Отдел технического контроля является подразделением предприятия, задачей которого является проверка установленных этим предприятием характеристик изделия и их подтверждение в паспорте продукции или заменяющем его документе. В свою очередь пятая приемка осуществляется в соответствии с требованиями к военной технике, изделиям двойного назначения, а также специальной технике оборонно-промышленного комплекса, которые установлены на государственном уровне. Испытания на пятую приемку более длительные и проводятся в специализированных аттестованных лабораториях. Поэтому изделия с приемкой «5» отличаются исключительной степенью надежности и высокими функциональными характеристиками в особо сложных условиях работы:

- акустическом шуме;
- синусоидальной вибрации;

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		10

- многократных механических ударах и ускорениях;
- осадках (снег, дождь, град), в том числе конденсированным (роса, иней);
- перепадах температуры;
- кратковременном нагреве до 600 градусов;
- воздействию пыли, песка, солевого тумана и др.

Цель работы заключается в совершенствовании платы коммутации путем замены компонентов, не соответствующих требованиям технического задания. При этом повысится качество и надежность устройства.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		11

## 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выполнения выпускной квалификационной работы требуется модернизировать печатный узел платы коммутации щитка автономного управления РСБН-4НМ.

Для этого необходимо:

- подобрать новую отечественную элементную базу для автоматизированного монтажа с приёмкой «5», аналогичную с исходным перечнем по электрическим параметрам;
- разместить элементы на плате, габаритные и установочные размеры которой должны соответствовать габаритным и установочным размерам исходной платы ТБИС.469335.348;
- переработать и выпустить новый комплект конструкторской документации.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		12

## 2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Темой данной выпускной квалификационной работы является модернизация платы коммутации щитка автономного управления.

Плата коммутации ЩАУ предназначена для приёма и распределения питающих напряжений, поступающих на шкаф системный (ШС), автономного включения комплектов ШС и привода при отключенном модуле автоматики, а также для индикации включения комплектов аппаратуры ШС в режиме РЕМОНТ.

Для анализа имеется исходная плата коммутации ЩАУ РСБН-4НМТБИС.469335.348 и конструкторская документация на нее.

На плате имеется 13 твердотельных коммутирующих реле, обеспечивающих:

- управление коммутацией сигналов стабилизации привода;
- управление коммутацией питания первого и второго комплектов привода;
- коммутацию питания первого и второго комплектов ШС;
- формирование управляющих сигналов в отсутствие модуля автоматики при коммутации питания первого и второго комплектов ШС;
- перевод ЩАУ в режим «РЕМОНТ» при отсутствии модуля автоматики.

На первую пару контактов подается управляющий сигнал, через вторую пару проходит напряжение +27 В для питания комплектов. Токи по цепям питания – не более 3,5 А, по всем остальным цепям – не более 60 мА.

В ходе анализа конструкторской документации выявлены недостатки конструкции: на плате имеется 26 диодов, 6 из которых расположены на обратной стороне платы, что значительно снижает надежность конструкции. При осмотре платы, размещенной в ЩАУ, есть возможность повредить данные диоды в виду их неудобного расположения и длины, а также толщины их выводов, которые при неосторожном движении можно погнуть. Тем не менее, при исходном перечне элементов нет возможности расположить все диоды на одной стороне платы, что связано с их большими габаритами, а также габаритами других компонентов.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		13

Почти все компоненты используются для сквозного монтажа, что повышает сложность выполнения и увеличение времени изготовления платы коммутации и увеличение места на плате. Также большинство элементов имеет приемку обычную гражданскую приемку «ОТК» в связи с тем, что на момент разработки платы коммутации не были выпущены элементы с приемкой «5», требуемые по параметрам.

Для модернизации платы коммутации необходимо подобрать новую элементную базу с меньшими габаритными параметрами, разрешенную в применении военной промышленностью, подходящую для поверхностного монтажа.

Будущее использование компонентов для поверхностного монтажа для данной платы коммутации в основном обуславливается тем, что они имеют значительно меньшие размеры по сравнению с элементной базой для монтажа в отверстия.

Большую часть массы и габаритов исходных элементов составляют корпус и выводы. Размеры корпуса продиктованы в основном расположением выводов, требованиям по теплоотводу и т.д. Поверхностный монтаж позволяет применять компоненты с существенно меньшим шагом выводов благодаря отсутствию отверстий в печатной плате.

Также повысится технологичность, т.к. отсутствие необходимости подготовки выводов перед монтажом и установкой выводов в отверстия, самовыравнивание компонентов при пайке, фиксация компонентов паяльной пастой или клеем позволяют применять автоматическое технологическое оборудования с высокой производительностью. Снижается трудоемкость операций пайки по сравнению с ручной.

Еще одно преимущество — повышение ремонтпригодности. Современное ремонтное оборудование позволяет снимать и устанавливать компоненты без повреждений даже при большом количестве выводов.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>14</i>

При монтаже в отверстия такая операция более сложная из-за необходимого прогрева достаточно тепломеханических паяльных соединений. При поверхностном монтаже трудоемкость соединений меньше, а нагрев может осуществляться по поверхности горячим воздухом или азотом.

Также необходимо произвести размещение компонентов на одной стороне печатной платы, габаритные параметры которой соответствуют габаритным параметрам исходной платы. Так как размещение компонентов будет отличаться от исходного, также необходимо провести трассировку печатной платы и выпустить новый комплект конструкторской документации.

Исходные данные проанализированы, приступим к подбору компонентов.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		15

### 3 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

#### 3.1 Подбор новой элементной базы

При подборе новых компонентов должны быть соблюдены следующие условия:

- 1) выбранные компоненты должны быть разрешены для применения военной промышленностью;
- 2) выбранные компоненты являются отечественными;
- 3) выбранные компоненты должны иметь аналогичные необходимые электрические параметры, что и исходные;
- 4) преимущественно выбираются те компоненты, которые приспособлены для автоматизированной сборки аппаратуры;
- 5) Преимущественно выбираются те компоненты, которые уже применяются в узлах изделий, выпускаемых АО «ЧРЗ «Полет».

##### 3.1.1 Подбор реле

В исходном перечне элементов используются сдвоенное однонаправленное реле КР293КП4А, реле постоянного тока с двумя парами нормально-разомкнутых контактов КР293КП8А, переключающее однонаправленное реле КР293КП10А АДБК.431160.616 ТУ отечественного предприятия ОАО «Протон», а также нормально-разомкнутое реле 5П20.10П1-10-0,6-А ЕНСК.431162.002 ТУ отечественного предприятия ЗАО «Протон-Импульс». Данные реле не используются в военной промышленности и имеют приемку «ОТК», соответственно требуют замены. Основные параметры реле, по которым требуется искать аналог, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры твердотельных реле

Тип реле	Напряжение коммутации, Uком	Ток коммутации, Iком	Входной ток во включенном состоянии Iвх. вкл
КР293КП4А	60	350	5-25
КР293КП8А	60	220	5-25
КР293КП10А	60	220	5-25
5П20.10П1	60	10	10-25

Чтобы подобрать необходимые по условиям твердотельные реле, воспользуемся перечнем ЭКБ-04 ред. 2017[1], в которых перечислены все компоненты, разрешенные для применения в военной технике, и также номенклатурой отечественных предприятий АО «Протон» и ЗАО «Протон-Импульс». Подходящими аналогами для КР293КП4А является 249КП15БР, для КР293КП8А - 249КП14АР, КР293КП10А решено заменить на 249КП12БР. Серия 249КП активно используется на предприятии АО «ЧРЗ «Полет». Также выбранная серия имеет корпус 2101.6-1 (см. рисунок 1), как и исходная серия КР293. Данный тип корпуса является самым распространенным, и предназначен для монтажа в отверстия. Так как оптоэлектронные реле для поверхностного монтажа и имеющие военную приемку еще не разработаны, принято решение заменить на данные аналоги.

#### Рисунок 1 – Габаритные размеры корпуса 2101.6.1

Реле 5П20.10П1-10-0,6-А заменяется на 2609КП1П и 249КП5Р соответственно. Реле 5П20.10П1-10-0,6-А заменяется на 249КП5Р в позиции ДК6, т.к. в данном участке цепи не требуются такие электрические параметры, как у 2609КП1П, поэтому будет достаточно применять реле с параметрами, аналогичными остальным из выбранной серии 249КП.

Выбранное оптоэлектронное реле 2609КП1П изготавливается предприятием АО «Завод «МАРС» города Торжка и имеет тип корпуса КТ-104-1.01Н (см. рисунок 2). Выбранное реле обладает сравнительно большими габаритами, чем реле серии 5П20.10П1, однако за счет замены реле в позиции ДК6

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		17

на другой тип, занимаемая площадь на плате реле типа 2609КП1П остается такой же, что и в исходном варианте.

### Рисунок 2 – Габаритные размеры корпуса КТ-104-1.01Н

Все аналоги соответствуют большинству требований, и имеют идентичные электрические параметры, что и исходные реле.

#### 3.1.2 Подбор конденсаторов

В плате коммутации используется отечественный конденсатор типа К50-68 предприятия ОАО «Элеконд», предназначенный для сквозного монтажа. Данный тип конденсатора уже применяется в различных изделиях АО «ЧРЗ «Полет».

Так как необходимый аналог, соответствующий заданным требованиям и электрическим параметрам, еще не разработан, принято решение оставить конденсатор без замены.

#### 3.1.3 Подбор диодов

В исходном перечне элементов используются диоды 2Д102А1/ББ АЕЯР.432120.444 ТУ отечественного предприятия ОАО «Болховский завод полупроводниковых приборов» и импортные диоды 2Д213АЦ23.362.008 ТУ предприятия ОАО «FOTON», имеющие параметры, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры диодов

Тип диода	Макс. пост./имп. обратное напряжение, В	Макс. ср./имп. прямой ток, А
2Д102А1/ББ	250/250	0,1/0,5
2Д213А	200/200	10/100

Воспользовавшись ведомостью применяемости, принято решение заменить данные диоды на 2Д815А9 с типом корпуса КД-36 и 2ДШ2124Г94 с типом корпуса КТ-93 соответственно. Выбранные диоды типа 2Д815А9 изготавливаются отечественным предприятием АО «ОКБ-Планета», производителем диодов типа 2ДШ2124Г94 является АО «Воронежский Завод Полупроводниковых Приборов-Сборка». Выбранные аналоги имеют корпуса для поверхностного монтажа (см. рисунки 3 и 4), а также малые габариты, благодаря которым будет возможна установка всех диодов на одну сторону платы за счет уменьшения занимаемой площади по сравнению с исходной платой.

Рисунок 3 – Габаритные размеры корпуса КД-36

Рисунок 4 – Габаритные размеры корпуса КТ-93

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>19</i>

### 3.1.4 Подбор резисторов

Из перечня ЭКБ 04-2017 подберем необходимый тип резисторов, соответствующий заданным условиям. Таким резистором является тип P1-12, который активно используется во многих узлах изделия РСБН-4НМ. Произведем замену резисторов С2-33 на выбранный аналог с сохранением номиналов и мощностей, соответственно типоразмеры резисторов P1-12 выбираются 2010 и 4020. Они отличаются габаритными параметрами, зависящими от мощности резистора.

Типоразмер (Международные обозначения габарита резистора)	Вид резистора	Номинальная мощность рассеяния, Вт	Габаритные размеры и допустимые отклонения			
			H	L	B	I
2010	P1-12 - 0,5	0,5	0,6 ±0,2	5,0 ±0,2	2,5 ±0,2	0,5 ±0,25
4020	P1-12 - 2,0	2,0	0,6 ±0,2	10,0 ±0,2	5,0 ±0,2	1,0 ±0,5

Рисунок 4 – Габаритные параметры типоразмеров 2010 и 4020

### 3.1.5 Подбор разъема

В плате коммутации используется розетка типа СНП260 БСАР.434410.003 ТУ на 69 контактов отечественного предприятия ОАО «КАРАЧЕВСКИЙ ЗАВОД «ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ». Данный тип розетки активно используется в узлах изделия РСБН-4НМ, также имеет военную приемку, соответственно принято решение оставить разъем без изменения. Габаритные параметры розетки представлены на рисунке 5, схема расположения контактов на изоляторе представлена на рисунке 6.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

Рисунок 5 – Габаритные параметры розетки СНП260

Рисунок 6 – Схема расположения контактов на изоляторе

Подбор новых элементов для платы коммутации завершен. Исходные схема и новый перечень элементов приведены в приложении А и Б к данной дипломной работе.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		21

### 3.2 Разработка платы коммутации

Для того, чтобы приступить к размещению элементов на печатной плате, необходимо провести анализ мест установки и условий эксплуатации.

По техническому заданию, плата коммутации должна исправно функционировать в условиях температуры окружающей среды от 233 до 323 К (от минус 40 до плюс 50 °С) и относительной влажности воздуха до 95% при температуре до 313 К (до плюс 40 °С). Для расчетов условия эксплуатации примем как нормальные, при которых температура окружающей среды является 298 К (плюс 25 °С) с относительной влажностью воздуха 65%. Это связано с тем, что печатная плата предназначена для установки в ЩАУ, которая в свою очередь расположена в шкафу системном стационарной аппаратуры в отапливаемом помещении.

Воздух в помещении без химических примесей и пыли, отсутствуют чрезмерные механические нагрузки во время работы, но имеются воздействия механических нагрузок в нерабочем состоянии при транспортировке.

В исходных данных печатная плата изготавливается комбинированным позитивным методом.

Основные параметры для данного метода приведены в таблице 3.

Плата коммутации является двусторонней, ее толщина составляет 1,5 мм.

Так как в исходных данных плата коммутации изготавливается 3-го класса точности, на плате имеются элементы для поверхностного монтажа и плотность компоновки не высокая, то класс точности остается без изменений.

Шаг координатной сетки примем исходя из шага между контактами розетки СНП260, которая составляет 2,5 мм.

Максимальный ток в цепях питания составляет 3,5 А, по всем остальным цепям – не более 60 мА.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		22

### 3.3 Расчет основных элементов проводящего рисунка

#### 3.3.1 Основные параметры ПП

Для расчетов также необходимо определить технологические погрешности изготовления ПП. Данные погрешности взяты из ГОСТ Р 53429-2009 [3] и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технологические погрешности

№	Наименование	Обозначение, величина, размерность
1	Погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка	$\delta_o=0,06$ мм
2	Погрешность базирования плат на сверлильном станке	$\delta_b=0,02$ мм
3	Погрешность расположения контактных площадок на фотошаблоне	$\delta_{ш}=0,05$ мм
4	Погрешность расположения печатных элементов при экспонировании	$\delta_3=0,02$ мм
5	Погрешность расположения базовых отверстий на заготовке	$\delta_3=0,02$ мм
6	Погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне	$\delta_{п}=0,03$ мм
7	Погрешность расположения проводников относительно координатной сетки на фотошаблоне	$\delta_t=0,045$ мм
8	Погрешность диаметра отверстия (биение и точность изготовления сверла)	$\Delta_d=0,02$ мм
9	Толщина гальванически наращенной меди	$h_r=0,055$ мм
10	Толщина гальванического резиста	$h_p=0,02$ мм
11	Толщина предварительного осажденной меди	$h_{пм}=0,0065$ мм

Входные данные для 3 класса точности печатной платы [3] приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Входные данные

№	Наименование	Обозначение, величина, размерность
1	Ширина проводника	$t=0,25$ мм
2	Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой	$s_{\min}=0,25$ мм
3	Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	$b_m=0,1$ мм
4	Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы	$\gamma=0,33$

Далее производится расчет основных элементов печатного рисунка.

### 3.3.2 Расчет диаметра металлизированного отверстия

Минимальный диаметр металлизированного отверстия печатной платы рассчитывается по формуле (1):

$$d_{\min} \geq H_{\text{расч}} \cdot \gamma, \quad (1)$$

где  $d_{\min}$  – диаметр металлизированного переходного отверстия;

$H_{\text{расч}}$  – расчетная толщина печатной платы, 1,5 мм;

$\gamma$  – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы.

При подстановке значений в формулу (1) получим:

$$d_{\min} = 1,5 \cdot 0,33 = 0,495 \text{ мм.}$$

### 3.3.3 Расчет минимально допустимой ширины проводников

Минимально допустимую ширину проводников по постоянному току цепей питания и заземления с учетом допустимой токовой нагрузки определяем по формуле:

$$t_{\min \text{ п}} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot h}, \quad (2)$$

где  $I_{\max}$  – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках;

$j_{\text{доп}}$  – допустимая плотность тока;

$h$  – толщина печатного проводника.

Допустимая плотность тока зависит от чистоты проводящего слоя. Для медной фольги в комбинированном позитивном методе этот параметр варьируется в диапазоне от 100 до 250 А/мм<sup>2</sup> [4].

Возьмем минимальное значение из диапазона и проведем расчет максимального тока нагрузки 3,5 А, подставив значения в формулу (2):

$$t_{\min \text{ п}} = \frac{3,5}{100 \cdot 0,05} = 0,7 \text{ мм.}$$

В остальных случаях решено использовать минимально допустимую ширину проводников, а именно 0,25 мм.

### 3.3.4 Минимальный диаметр контактных площадок

Минимальный эффективный диаметр площадки получим из формулы (3):

$$D_{\min} = 2 \left( b_{\text{м}} + \frac{d_{\min} + \Delta d}{2} + \delta_{\text{о}} + \delta_{\text{б}} + \delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{э}} + \frac{\delta_{\text{п}} + \delta_{\text{з}}}{2} \right), \quad (3)$$

где:  $D_{\min}$  – минимальный диаметр контактной площадки, мм;

$b_{\text{м}}$  – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки, мм

$\Delta d$  – допуск на отверстие, мм;

$\delta_{\text{о}}$  – погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, мм;

$\delta_{\text{б}}$  – погрешность базирования плат на сверлильном станке, мм;

$\delta_{\text{ш}}$  – погрешность расположения контактной площадки относительно координатной сетки, мм;

$\delta_{\text{э}}$  – погрешность расположения контактной площадки при ее экспонировании, мм;

$\delta_{\text{п}}$  – погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне, мм;

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

$\delta_3$  – погрешность расположения базовых отверстий на заготовке, мм.

Для получения минимальной контактной площадки для переходного отверстия, подставим нужные значения из таблиц 3 и 4 в формулу (3). Получим:

$$D_{1\min} = 2 \left( 0,1 + \frac{0,495 + 0,02}{2} + 0,06 + 0,02 + 0,05 + 0,02 + \frac{0,03 + 0,02}{2} \right) = 1,065 \text{ мм.}$$

Для работы с проводящим рисунком округлим полученный размер контактной площадки до 1,1 мм.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		26

### 3.4 Посадочные места. Создание библиотеки

Для создания библиотеки элементов использовалась САПР Altium Designer14.3. Создавалась электронная компонентная база используемых элементов, состоящая из условных графических обозначений (УГО), посадочных мест и 3D моделей элементов. 3D модели создавались в САПР Autodesk Inventor Professional 2014. Использовались данные САПР, так как они широко применяются на предприятии АО «ЧРЗ «Полет» и соответствуют всем современным требованиям.

Этапы создания библиотечных элементов:

- создается библиотека элементов;
- создается упрощенный вид элемента (см. рисунок 7);
- создается посадочное место для элемента на печатной плате (см. рисунок 8), а также его 3D модель в формате STEP-файла;
- создается взаимосвязь между посадочным местом и 3D моделью;
- создается взаимосвязь между технологическим и схемным библиотечным элементом.

Рисунок 7 – Процесс создания УГО в Altium Designer

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		27

Рисунок 8 – Процесс создания посадочного места в Altium Designer

Библиотека элементов создавалась для последующего оформления схемы электрической принципиальной (рисунок 9). УГО создавалось по ЕСКД.

Рисунок 9 – Процесс оформления схемы электрической принципиальной в Altium Designer

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>28</i>

### 3.5 Размещение и трассировка ПП

Главным конструктивным требованием для платы коммутации является то, что габаритные и установочные размеры модернизируемой платы должны соответствовать габаритным и установочным размерам исходной платы ТБИС.469335.348, габариты которой - 142x136x1,5 мм.

Для размещения и трассировки применялась САПР Altium Designer 14.3. Переходные отверстия и монтажные отверстия расположены в узлах координатной сетки. Используется минимальное число переходных отверстий, проводники выполнены преимущественно на нижней стороне платы. Главной целью размещения является создание наилучших условий для трассировки для получения минимума суммарной длины печатных проводников.

Размещение элементов началось с размещения разъема. Следом размещались твердотельные реле, имеющие максимальное количество выводов. Реле на позициях DK10 и DK12 принято решение расположить ближе к разъему для сокращения длины проводников питания. Остальные элементы расположены в соответствии с требованием получения минимума суммарной длины печатных проводников. Трассировка печатной платы является разработкой топологии электрических соединений между посадочными местами электронных компонентов, размещенных на печатной плате, пример процесса трассировки платы коммутации представлен на рисунке 10. Критерии выполнения трассировки для данной платы соблюдены, а именно:

- минимальное число пересечений проводников;
- равномерность расположения проводников;
- минимальное количество переходных отверстий;
- минимальное количество изгибов проводников;
- минимальная протяженность параллельных участков соседних проводников;
- минимальное количество слоев платы.

Рисунок 10 – Процесс трассировки печатной платы в Altium Designer

Также обеспечена электромагнитная совместимость печатного узла, так как все элементы, а также печатные проводники максимально удалены друг от друга при данных габаритах платы. Обеспечено требование по ремонтпригодности печатного узла, так как в устройстве частично используются элементы для поверхностного монтажа, которые в свою очередь достаточно легко заменить. Результат трассировки представлен в приложении В дипломной работы.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>30</i>

### 3.6 Оформление конструкторской документации

Для оформления конструкторской документации использовалась программа Autocad Mechanical 2014, так как она широко применяется на предприятии АО «ЧРЗ «Полет» и соответствует всем современным требованиям. Упрощенные изображения элементной базы, используемые в сборочном чертеже на плату коммутации, представлены на рисунке 11.

Рисунок 11 – Упрощенные изображения элементной базы

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		31

### 3.7 Монтаж элементов на ПП

Для монтажа выбранных элементов воспользуемся ГОСТ 29137-91 [5].

#### Реле

Для реле 2609КП1П в ГОСТ 29137-91 имеется тип установки с прокладкой под корпус, позиция 40.

Для реле 249КП15БР, 249КП14АР, 249КП12БР, 249КП5Р в [5] имеется тип установки, позиция 35.

#### Резисторы

Резисторы типа Р1-12 имеют поверхностный монтаж, поэтому кладутся непосредственно на контактные площадки.

#### Диоды

Диоды 2ДШ2124Г94 и 2Д815А9 имеют поверхностный монтаж, поэтому кладутся непосредственно на контактные площадки.

#### Разъем

Розетка СНП260 не имеет стандартного посадочного места, способ установки разъема будет приведен в требованиях приложения Б.

#### Конденсаторы

Для конденсатора К50-68 в [5] имеется тип установки, позиция 6.

Все остальные технические требования к производству печатной платы приведены в конструкторской документации на печатную плату.

### 3.8 Расчет надежности печатного узла

Для определения времени безотказной работы переработанного печатного узла необходимо провести расчет интенсивности отказа. Будем использовать справочник «Надежность ЭРИ» автора Прытков С.Ф., в котором перечислена вся необходимая информация для расчета надежности электрорадиоизделий. Зададим условия эксплуатации: температура 298 К (плюс 25 °С), исходя из этого будет определяться коэффициент режима  $K_p$ , также зависящий и от коэффициента нагрузки  $K_n$ . Для всех групп элементов ППК<sub>н</sub> примем 0,5. После этого для каждой группы элементов подберем необходимую формулу для расчета.

Конденсаторы:

В печатном узле используется один конденсатор типа К50-68. Данный тип является окисдно-электролитическим алюминиевым. В справочнике «Надежность ЭРИ» имеются необходимые базовые данные, соответственно расчет производится по формуле (4):

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda'_{\text{Г}} \cdot K_p \cdot K_C \cdot K_{np} \cdot K_{\text{Э}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{Э}}$  - эксплуатационная интенсивность отказа;

$\lambda'_{\text{Г}}$  - интенсивность отказа отдельных элементов;

$K_p$  - коэффициент режима.

Исходные коэффициенты:

$$\lambda'_{\text{Г}} = 0,3 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,251; K_C = 1; K_{np} = 1; K_{\text{Э}} = 1.$$

Рассчитаем интенсивность отказа, подставив в формулу (4) подобранные данные. В печатном узле используется 1 конденсатор типа К50-68. Получим:

$$\lambda_{\text{Э}} = 0,3 \times 10^{-6} \cdot 0,251 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 7,53 \times 10^{-8}.$$

Оптоэлектронные микросхемы:

В переработанном печатном узле используются оптоэлектронные микросхемы типа 249КП14АР, 249КП12БР, 249КП15БР, 2609КП1П и 249КП5Р. Так как базовых значений для данных микросхем в справочнике нет, воспользуемся групповой формулой (5):

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda'_{\text{бсз}} \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{Э}}, \quad (5)$$

В сводных таблицах находим необходимые параметры:

$$\lambda'_{\text{бсз}} = 0,21 \cdot 10^{-6}; K_{\text{нр}} = 1; K_{\text{Э}} = 1.$$

В сумме в печатном узле используется 13 оптоэлектронных микросхем. Рассчитаем интенсивность отказа для всех микросхем, подставив в формулу (5) подобранные данные:

$$\lambda_{\text{Э}} = (0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1) \cdot 13 = 273 \cdot 10^{-8}.$$

Разъем:

В печатном узле используется один разъем типа СНП260, являющийся низкочастотным прямоугольным для печатного монтажа. Так как в справочнике есть базовые данные для расчета, используем формулу (6):

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda'_{\text{б}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{к.к}} \cdot K_{\text{к.с}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{нр}}, \quad (6)$$

где  $K_{\text{к.с}}$  – коэффициент количества коммутаций;

$K_{\text{к.к}}$  – коэффициент количества задействованных контактов.

Исходные данные:

$$\lambda'_{\text{б}} = 0,00103 \cdot 10^{-6}; K_{\text{р}} = 0,75; K_{\text{к.к}} = 10,65; K_{\text{к.с}} = 0,32; K_{\text{нр}} = 1; K_{\text{Э}} = 1.$$

Рассчитаем интенсивность отказа данного разъема, подставив в формулу (6) подобранные данные:

$$\lambda_{\text{Э}} = 0,00103 \cdot 10^{-6} \cdot 0,75 \cdot 10,65 \cdot 0,32 \cdot 1 \cdot 1 = 0,263 \cdot 10^{-8}.$$

Диоды:

В переработанном печатном узле используются выпрямительные диоды типа 2ДШ2124Г94 и импульсные диоды типа 2Д815А9.

Так как базовых значений для данных диодов в справочнике нет, воспользуемся групповой формулой (7):

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{бсз}} \cdot K_p \cdot K_{\text{д.н}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{с1}} \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{нр}}, \quad (7)$$

Исходные данные для диодов 2ДШ2124Г94, взятые из сводных таблиц [6]:

$$\lambda'_{\text{бсз}} = 0,1 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,1486; K_{\text{д.н}} = 1; K_{\text{ф}} = 1,5; K_{\text{с1}} = 0,7; K_{\text{нр}} = 1;$$

$$K_{\text{э}} = 1,4.$$

В сумме в печатном узле используется 5 диодов данного типа. Рассчитаем интенсивность отказа для всех диодов, подставив в формулу (7) подобранные данные:

$$\lambda_{\text{э}} = 5 \cdot (0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1486 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1,4 \cdot 1) = 10,9 \cdot 10^{-8}.$$

Исходные данные для диодов типа 2Д815А9, взятые из сводных таблиц [6]:

$$\lambda'_{\text{бсз}} = 0,034 \cdot 10^{-6}; K_p = 0,1486; K_{\text{д.н}} = 1; K_{\text{ф}} = 1,5; K_{\text{с1}} = 0,7; K_{\text{нр}} = 1;$$

$$K_{\text{э}} = 1,4.$$

В сумме в печатном узле используется 15 диодов данного типа. Рассчитаем интенсивность отказа для всех диодов, подставив в формулу (7) подобранные данные:

$$\lambda_{\text{э}} = 15 \cdot (0,034 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1486 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1,4 \cdot 1) = 11,1 \cdot 10^{-8}.$$

Резисторы:

В печатном узле используются резисторы типа Р1-12, являющиеся постоянными непроволочными металлодиэлектрическими. В справочнике имеются исходные данные на этот тип резисторов, поэтому расчет будет производиться по формуле (8):

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{б}} \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_p \cdot K_{\text{э}} \cdot K_R \cdot K_M \cdot K_{\text{стаб}}, \quad (8)$$

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35

где  $K_R$  – коэффициент номинального сопротивления;

$K_M$  – коэффициент номинальной мощности;

$K_{\text{стаб}}$  – коэффициент допуска.

Исходные данные:

$$\lambda'_0 = 0,065 \cdot 10^{-6}; K_{np} = 1; K_p = 0,58; K_{\text{Э}} = 1; K_R = 0,7; K_{\text{стаб}} = 1;$$

Поскольку в плате коммутации используются резисторы с разными мощностями, то и коэффициенты  $K_M$  имеют разные значения, поэтому для  $P=0,5$  Вт  $K_M=0,7$ , а для  $P=2$  Вт  $K_M=1,5$ .

В сумме в печатном узле используется 3 резистора с мощностью, равной 2 Вт. Рассчитаем интенсивность отказа для всех резисторов данного типа, подставив в формулу (8) подобранные данные:

$$\lambda_{\text{Э}} = 3 \cdot (0,065 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,58 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 1) = 11,8 \cdot 10^{-8}.$$

В сумме в печатном узле используется 23 резистора с мощностью, равной 0,5 Вт. Рассчитаем интенсивность отказа для всех резисторов данного типа, подставив в формулу подобранные данные:

$$\lambda_{\text{Э}} = 23 \cdot (0,065 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,58 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1) = 42 \cdot 10^{-8}.$$

Плата коммутации:

Значения интенсивности отказов многослойных плат при эксплуатации рассчитывают по формуле (9):

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda'_0 \cdot K_{\text{Э}} \cdot [N_1 \cdot K_c + N_2 \cdot (K_c \cdot 13)] \quad (9)$$

где  $K_c$  – коэффициент количества слоев;

$N_1$  – количество сквозных отверстий, пропаянных волной;

$N_2$  – количество сквозных отверстий, пропаянных ручной пайкой.

$$\lambda'_0 = 0,0017 \cdot 10^{-8}; K_{\text{Э}} = 1; N_1 = 275; K_c = 1; N_2 = 0.$$

Произведем расчет эксплуатационной интенсивности отказа для печатной платы, подставив в формулу (9) данные:

$$\lambda_9 = 0,0017 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot [275 \cdot 1 + 0 \cdot (1 \cdot 13)] = 0,46 \cdot 10^{-8}.$$

Для нахождения полной интенсивности отказа платы коммутации необходимо сложить все интенсивности, в результате:

$$\sum \lambda_9 = 10^{-8} \cdot (7,53 + 273 + 0,263 + 10,9 + 11,1 + 102 + 0,46) = 4,05 \cdot 10^{-6}.$$

Среднее время безотказной работы вычисляется по формуле (10):

$$T = 1 / \lambda_9, \quad (10)$$

где T – среднее время безотказной работы, ч.

Подставив значение интенсивности отказа в формулу (10), получим:

$$T = 1 / 4,05 \cdot 10^{-6} = 246759 \text{ ч.}$$

По условиям технического задания необходимо обеспечить безотказной работой функциональный узел в течении 100 000 ч, значит, условие выполняется.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		37

### 3.9 Расчет резонансной частоты печатного узла

Для определения воздействия внешних механических перегрузок на элементы платы коммутации ЩАУ, а также возникающих максимальных перемещений при действии вибрации и ударов, необходимо рассчитать собственную резонансную частоту печатного узла.

Исходными данными для расчета собственной частоты колебаний печатной платы являются:

- перечень элементов, установленных на плате;
- $a, b, h$  – геометрические размеры платы;  $a$  – большая сторона, м;
- $E$  – модуль упругости материала платы, Н/м<sup>2</sup>;
- $\rho$  – плотность материала платы, кг/м<sup>3</sup>;

Так как плата изготавливается из стеклотекстолита, то расчет произведем по следующим коэффициентам:  $E=3,3 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>,  $\rho=2,55 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Геометрические размеры платы:  $a=136$  мм,  $b=142$  мм,  $h=1,5$  мм.

Таблица 5 – Данные о количестве элементов и их массе

Элемент	Количество, шт	Масса, гр
249КП15БР	5	1
249КП14АР	2	1
249КП12БР	3	1
249КП5Р	1	1
2609КП1П	2	30
К50-68	1	5,5
2Д815А9	15	0,1
2ДШ2124Г94	5	1,92
Р1-12-0,5	23	0,04
Р1-12-2	3	0,5
СНП260-69 Р ПЗ 1	1	25

Плата крепится по типу, представленному на рисунке 12:

Рисунок 12 – Тип крепления печатной платы

Для расчета резонансной частоты используется формулу (11):

$$f_0 = \left( \frac{C \cdot h}{a^2} \right) \cdot 10^5 \cdot K_M \cdot K_{MAC}, \quad (11)$$

где:  $h$  – толщина платы;

$a$  – длина платы;

$C$  – коэффициент, определяемый по соотношению сторон печатной платы  $a/b$  и ее типу крепления.

Найдем коэффициент  $C$ :

$$a / b = 136 / 142 = 0,95,$$

для  $a/b=0,5$   $C=5,7$ ;

для  $a/b=1$   $C=22,9$ .

Найдем значение коэффициента  $K_M$  по следующей формуле (12):

$$K_M = \sqrt{\frac{E \cdot \rho_c}{E_c \cdot \rho}}, \quad (12)$$

где:  $E_c$  – модуль Юнга стали;

$E$  – модуль Юнга стеклотекстолита;

$\rho_c$  – плотность стали;

$\rho$  – плотность стеклотекстолита.

Значения коэффициентов:  $E_c = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ ;  $E = 3,3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ ;  
 $\rho_c = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho = 2,35 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Подставим коэффициенты в формулу (12):

$$K_M = \sqrt{\frac{3,3 \cdot 10^{10} \cdot 7,85 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,35 \cdot 10^3}} = 0,725.$$

Найдем значение коэффициента  $K_{MAC}$  по следующей формуле (13):

$$K_{MAC} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_э}{m_n}}}, \quad (13)$$

где:  $m_э$  – масса всех элементов, установленных на печатную плату;

$m_n$  – масса печатной платы без элементов.

Для расчета массы элементов, расположенных на печатной плате, необходимо воспользоваться формулой (14):

$$m_э = \sum m_i n_i, \quad (14)$$

где:  $m_i$  – масса элемента;

$n_i$  – количество элементов, установленных на печатную плату.

Воспользуемся исходными данными о количестве и массе элементов, подставив в формулу:

$$m_э = 1 \cdot 5 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 1 + 30 \cdot 2 + 1 \cdot 5,5 + 0,1 \cdot 15 + 1,92 \cdot 5 + \\ + 0,04 \cdot 23 + 0,5 \cdot 3 + 25 \cdot 1 = 0,115 \text{ кг}.$$

Рассчитаем массу печатной платы без элементов по следующей формуле (15):

$$m_n = \rho \cdot a \cdot b \cdot h, \quad (15)$$

$$m_n = 2,35 \cdot 10^3 \cdot 0,142 \cdot 0,136 \cdot 0,0015 = 0,068 \text{ кг}.$$

Подставим полученные значения в формулу  $K_{MAC}$  (13).

$$K_{MAC} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,115}{0,068}}} = 0,609.$$

Выполним расчет резонансной частоты, подставим все найденные значения в формулу (11):

$$f_{ПЧ} = \left( \frac{21,7 \cdot 1,5}{136^2} \right) \cdot 10^5 \cdot 0,725 \cdot 0,609 = 77,7 \text{ Гц.}$$

Результат расчета показал, что резонансная частота печатной платы составляет 77,7 Гц.

					11.03.03.2018.219.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данной выпускной квалификационной работе выполнена модернизация платы коммутации щитка автономного управления, предназначенная для коммутации цепей питания от источников постоянного напряжения до передатчиков. Подобрана и обоснована новая элементная база, соответствующая требованиям технического задания. Произведен расчет топологий печатной платы, произведена компоновка устройства, выбор формовки выводов каждого элемента и способа его установки, разработана конструкторская документация на печатную плату. Создана 3D модель устройства.

Произведен расчет надежности печатного узла, для подтверждения выполнения задания по требованию о безотказной работе в течении 100 000 ч, проведен расчет резонансной частоты печатной платы.

Все требования технического задания полностью учтены.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		42

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Соединители электрические, изделия электроустановочные и присоединительные: Перечень ЭКБ 14 / А.А. Шмакова, К.В. Авраменко, Н.А. Перевалова, А.М. Гоголев, В.М. Исаев и др. – изд. Министерство промышленности и торговли РФ, 2017. – 75 с.

2. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Приборы полупроводниковые: Перечень ЭКБ 03/ Н.Н. Гливинская, К.В. Авраменко, Н.А. Перевалова, А.М. Гоголев, В.М. Исаев и др. – изд. Министерство промышленности и торговли РФ, 2017. – 149 с.

3. ГОСТ Р 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – Москва Стандартиформ, 2010. – 12 с.

4. ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 14 с.

5. ГОСТ 29137–91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования. – М.: ИПК издательство стандартов, 1991. 31 с.

6. Прытков, С.Ф. Надежность электрорадиоизделий: справочник/ С.Ф. Прытков.

					<i>11.03.03.2018.219.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		43