

Министерство науки и высшего образования 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

« ____ » _____ 2020 г.

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОГО УЗЛА ДЛЯ УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО
СТЕНДА СГУ-УН

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ-110303.2020.245.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
доцент кафедры КиПР

_____ Суворов П.В.
_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы КЭ-412

_____ Ежов Е.А.
_____ 08.06.2020 г.

Нормоконтролёр
аспирант кафедры КиПР

_____ Юнгайтис Е.М.
_____ 2020 г.

Челябинск 2020 г


АННОТАЦИЯ

Ежов Е.А. Разработка печатного узла для учебного лабораторного стенда СГУ-УН. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2020, 66 с. 56 ил., библиогр. список – 10 наим., 8 прил., 3 плаката ф. А1, 3 листа чертежей ф. А1 и 1 лист ф. А2.

В выпускной квалификационной работе разработан печатный узел, предназначенный для установки в учебный лабораторный стенд СГУ-УН. Он выполняет функцию сбора и анализа данных с датчиков и приборов, управление различными приводами.

В ходе выполнения проекта была разработана плата печатная, произведен выбор и обоснование размеров печатной платы и метод установки, материала печатной платы, расчеты ширины проводников, а также разработана топология печатного узла, размещение элементов и разработан трехмерная модель печатного узла.

В изделии применены современные отечественные и зарубежные электронные компоненты и материалы. Представлена конструкторская документация на печатную плату и на печатный узел. Для автоматизации процесса проектирования были использованы программные пакеты Altium Designer и SolidWorks Flow Simulation.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Ежов				Разработка печатного узла для учебного лабораторного стенда СГУ-УН	Лит.	Лист	Листов
Пров.	Суворов						7	65
Н. Контр.	Юнгайтис				ЮУрГУ Кафедра КиПР			
Утв.	Войтович							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	12
2.1 Анализ отечественных и зарубежных существующих решений.....	12
2.2 Анализ конструкторских решений.....	13
3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	14
3.1 Выбор и обоснование размеров печатного узла.....	14
3.2 Выбор и обоснование установки печатного узла.....	16
3.3 Выбор материала печатного узла.....	18
3.4. Расчёт конструктивно-технологических параметров печатного рисунка.....	19
3.5 Размещение элементов.....	31
3.6 Разработка топологии печатного узла.....	32
3.7 Разработка сборочных чертежей печатного узла для лабораторного стенда СГУ–УН.....	39
3.8 Разработка трехмерной модели печатного узла.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	56
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	57
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Техническое задание на учебный лабораторный стенд СГУ-УН.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. 3D – модель стенда СГУ–УН.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Схема электрическая принципиальная.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Перечень элементов.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Печатная плата.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Сборочный чертеж печатного узла.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Сборочный чертеж.....	64

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

ВВЕДЕНИЕ

Печатный узел – это печатная плата с подсоединенными к ней механическими и электрическими элементами и (или) другими печатными платами и с выполненными всеми процессами обработки (покрытия, пайка и т.д.).

Печатная плата (ПП) – материал основания, вырезанный по размеру, содержащий необходимые отверстия и, по меньшей мере, один проводящий рисунок.

ПП применяются практически во всех отраслях хозяйства, и потребность разработок ПП постоянно возрастает. Темпы развития микроэлектроники требуют каждодневного повышения их технического уровня, который определяется ростом плотности монтажа электрорадиоизделий (ЭРИ), повышения требований к надежности, увеличением быстродействия. Обеспечение этих требований зависит от достижений в области конструирования и развития технологии производства печатных плат.

ПП широко применяются в бытовой технике, аппаратуре средств связи, вычислительной технике, в системах автоматизации. Они также используются в контрольно-измерительной аппаратуре, в медицинском приборостроении, в автомобильной промышленности.

Типовой комплект учебного оборудования «Гидропривод, гидроавтоматика и автоматизация технологических процессов» СГУ-УН.

Лабораторный учебный стенд СГУ–УН – комплект учебного оборудования, предназначенный для проведения лабораторных занятий. Стенд выполнен в виде одностороннего лабораторного стола с установленными на нем монтажной панелью и стойкой для крепления электрических блоков управления. Монтажная панель служит для более быстрой установки необходимых гидравлических съемных элементов и устройств при сборке изучаемых гидравлических схем.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В ходе дипломного проектирования в качестве источников будут использоваться:

- 1 – справочные материалы;
- 2 – периодические издания;
- 3 – электронные каталоги библиотек;
- 4 – учебно–методические пособия;
- 5 – нормативные документы;
- 6 – информация интернет–источников.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

2.1 Анализ отечественных и зарубежных существующих решений

Существуют как отечественный, так и зарубежные лабораторные учебные стенды: «Гидропривод, гидроавтоматика и автоматизация технологических процессов», предназначенные для проведения лабораторных практических заданий.

Сравнивать будем по критериям: Страна производителя, количество выполняемых лабораторных занятий на стенде, питание для стенда, эксплуатируемое максимальное давление, потребляемая мощность, стоимость.

В данном разделе проведем сравнение стендов различных производителей:

1) Отечественный:

1. Компания производства и поставки лабораторных стендов: ООО «Денар-проф»; Стенд: Типовой комплект учебного оборудования «Гидропривод, гидроавтоматика и автоматизация технологических процессов» СГУ-УН;

2. Компания производства и поставки лабораторных стендов: ООО «Призм»; Стенд: Типовой комплект учебного оборудования «Гидропривод, гидроавтоматика и автоматизация технологических процессов» СГУ-УН;

2) Зарубежный:

3. Компания производства и поставки лабораторных стендов: «Shandong Dolang Technology Equipment Co., Ltd»; Стенд: «DLYY-DH202 Современное Электрогидравлическое Учебное Оборудование»

4. Компания производства и поставки лабораторных стендов: «Yıldırım Elektronik»; Стенд: «Y-0053 Пневматический-Электро-Пневматический Тренировочный Комплект»

Проведем сравнение на примере таблицы (2.1) в сравнение

Таблица 2.1 – Сравнение учебных лабораторных стендов.

Критери № стенда	Страна	Кол-во лабораторных	Питание стенда	max давление	Потребляемая мощность	Стоим- ость
---------------------	--------	------------------------	-------------------	-----------------	--------------------------	----------------

1	Россия	49 шт.	380 V	6 МПа	1,1 кВт	2391760 руб.
2	Россия	49 шт.	380 V	6 МПа	1,1 кВт	2655500 руб.
3	Турция	28 шт.	380 V	6 МПа	1,1 кВт	1950000 руб.
4	Китай	35 шт.	220 V	1 МПа	0,75 кВт	1458700 руб.

После сравнения 4 стендов, пришел к выводу, что необходимо разработать свой стенд, который позволит работать с большим давлением, на больших мощностях и оставаться в среднестатистической рыночной стоимости.

2.2 Анализ конструкторских решений

Перед разработкой печатного узла, необходима определить, где и как будет устанавливаться ПУ, для это необходима для начала провести расчет (габариты, способ крепления и тд).

Для анализа и выбора места установки была создана подробная 3D – модель лабораторного стенда СГУ – УН (Приложение Б) в программном пакете КОМПАС, из деталей ранее разработанных на предприятие.

Первый вариант установить это в коробке на монтажной панели, съемный.

Недостатки: большое количество разъемов, проводов, идущих от коробки к основным лицевым панелям для отображения и управления системой.

Достоинства: ремонтпригодность, удобно снять и проверить работоспособность и провести настройку показаний.

Второй вариант установить внутри корпуса лабораторного стенда на нижней крышке.

Недостатки: неудобства проверки и настройки ПУ, так как находится высоко.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

Достоинства: все подключения происходят на прямую от платы к устройствам отображения или управления, удобное подключения питания для ПУ и удобно обслуживать.

3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Выбор и обоснование размеров печатного узла

При подборе габаритных размеров печатной платы предусматриваются такие свойства, как:

- общая площадь всех ЭРИ;
- компоновка и расположение ЭРИ на плате;
- выбранный класс точности;
- общая стоимость;

Выбор класса точности ПП [3]:

ГОСТ Р 53429-2009 устанавливает семь классов точности выполнения элементов конструкции ПП, каждый из которых характеризуется минимальным допустимым значением номинальной ширины проводника (t), расстоянием между проводниками (S), расстоянием от края просверленного отверстия до края контактной площадки, ширины контактной площадки (b).

Таблица 3.1 - класс точности печатного монтажа (ГОСТ Р 53429-2009).

Наименование элемента печатного рисунка	Обозн.	Наименьшие номинальные значения размеров элементов для классов точности, мм						
		1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой	s	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	b_M	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы	γ	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20	—	—

В геометрических размерах печатной платы, кроме того, необходимо предусматривать припуск на технологическое поле для отверстий, с помощью которых ПП крепится к корпусу.

В соответствии с стандартом ГОСТ 10317-79 “Основные размеры печатной платы” [7]:

1. Используется шаг координатной сетки равный 2,50 мм [4].
2. Размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными.
2,5 — при длине до 100 мм;
5,0 — при длине до 350 мм;
10,0 — при длине более 350 мм.

Максимальный размер каждой из сторон обязан быть не более 470 мм.

3. Допуски в линейные размеры сторон печатной платы обязаны отвечать установленным ГОСТ 25346—89 [8] и ГОСТ 25347—82 [9].
4. Соотношение линейных размеров сторон печатной платы обязано быть не более 3:1.
5. Отклонение от перпендикулярности печатной платы не обязано быть более 0,2 мм на 100 мм длины.
6. Диаметры монтажных, переходных, металлизированных и не металлизированных отверстий должны быть выбраны из ряда: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

Печатные платы возможно выбирать любой формы, желательно прямоугольной. Присутствие проектировании и изготовлении печатных платок следует

Руководствоваться:

-ограничению типа размеров печатной платы;

- рациональное размещение проводников по всей плате;
- максимальное сокращение проводников с расположением их по линиям координатной сетки.

3.2 Выбор и обоснование установки печатного узла

Разместить печатный узел внутри корпуса стенда, желательно в центре для удобства обслуживания и ремонта печатного узла.

Разместить на стойках: Стойки крепежные установочные предназначены для монтажа радиоэлектронной аппаратуры, также называемые - Стойки для печатных плат, Стойки резьбовые. Винт Гайка, называемые также Папа–Мама (Рисунок 3.1).

Рис. 3.1 – Стойка для печатных плат (Папа – Мама)

Требуется зафиксировать печатный узел при помощи гаек М3 для жесткой фиксации, во избежание не желательных и случайных замыканий контактов между друг другом.

Сперва крепим стойки к нижней панели корпуса, сделав заранее отверстия, под винт М3х8 с потайной головкой (Рисунок 3.2), после того как были установлены стойки, устанавливает печатный узел на стойки.

Необходимо установить поверх ПУ на стойки шайбы М3 (Рисунок 3.3), после нужно установить шайба пружинная (гровер) М3 (Рисунок 3.4) и последнее установить гайку М3х8 (Рисунок 3.5).

Рисунок 3.2 – Чертеж винт с потайной головкой М3х8.

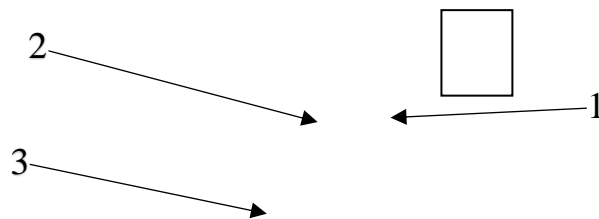
Рисунок 3.3 – Чертеж шайба М3.

Рисунок 3.4 – Чертеж шайба пружинная (гровер) М3.

Рисунок 3.5 – Чертеж гайка М3х8.

Место установка печатного узла, наглядное представление, более
подробное видно в приложение Ж (Рис. 3.6).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17



1 – Лицевая панель, на которой установлены рычаги управления, индикаторы, тумблеры... 2 – Печатный узел, установленный на стойках Мама – Папа. 3 – Нижняя крышка.

Рисунок 3.6 – Установка ПУ внутри корпуса.

Для удобного расположения проводников соединения сигнальных выходных разъемов с датчиками, с индикатором выключения. Именно поэтому мы выбрали размещение по центру. А также размещение по центру способствует облегчить осмотра и настройки печатного узла, замены компонентов и установки новых радиоэлементов.

3.3 Выбор материала печатной платы

ПП – пластина из диэлектрика, на поверхности и/или в объеме которой сформированы электропроводящие цепи электронной схемы. ПП предназначена для механического также электрического объединения разных электрических частей. Электронные элементы в печатной плате соединяются собственными выводами с компонентами проводящего рисунка как правило пайкой.

Использованные материалы для основы печатной платы служит диэлектриком, более зачастую применяются подобные материалы, как стеклотекстолит, гетинакс.

Рассмотрим достоинства и недостатки каждого материала:

Гетинакс – используется при средних условиях эксплуатации:

Недостатки: может впитывать влагу, может расслаиваться при механической обработке, коробится и понижает свои диэлектрические свойства.

Достоинства: меньше сверлить, дешево, соединение частей в целое в нагретом состоянии.

Стеклотекстолит фольгированный – получают пропитывание эпоксидной смолой слоев стеклоткани, прессованием и приклеенной поверхностной пленки ВФ-4Р медной электротехнической фольги толщиной 35-50 микрон.

Недостатки: дороже в 1,5 – 2 раза.

Достоинства: хорошие диэлектрические свойства.

Гетинакс не стоит использовать, потому что может происходить расслаиваться при обработке, материал может впитывать влагу, а это очень негативно может сказаться для эксплуатации ПП. В данной работе будет использован фольгированный стеклотекстолит.

3.4 Расчёт конструктивно-технологических параметров печатного рисунка

Таблица 3.2 – Перечень данных.

1. Тип печатной платы	ОПП
2. Метод изготовления	Химический негативный
3. Класс точности	3
4. Толщина печатной платы	2 мм
5. Шаг координатной сетки	2,5
6. Диаметр выводов	0,75мм 1,1мм 1,3мм
7. h_{ϕ}	35 мкм
8. I_{max}	0,5 А
9. l	40 мм

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2020.245.00.00 ПЗ

Лист

19

10. $U_{\text{доп}}$	5 В
11. $j_{\text{доп}}$	20 А/мм ²
12. Диаметр не металлизированного отверстия	4,2 мм

Расчёт начинается с определения номинального значения отверстия под вывод элемента [10].

Исходя из исходных данных, диаметры выводов элементов будут 0,75 мм и 1,1 мм.

Рассчитаем диаметр отверстий по формуле:

$$d = d_э + (0,1 \dots 0,4), \quad (1)$$

где $d_э$ – максимальный диаметр вывода устанавливаемого радиоэлемента. Значения в скобках принимает равным 0,1 мм.

$$d = 0,75 + 0,1$$

$$d = 1,1 + 0,1$$

$$d = 1,3 + 0,1$$

Получаем: $d_1 = 0,85$, сводим к предпочтительному размеру 0,9 мм

$$d_2 = 1,2 \text{ мм.}$$

$$d_2 = 1,4 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр КП для ДПП, изготовленных химическим негативным методом [10].

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5h_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где $h_{\text{ф}}$ – толщина фольги, примем значение $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм;

$D_{1\text{min}}$ = минимальный эффективный диаметр площадки.

$$D_{1min} = 2(b_M + \frac{d_{max}}{2} + \delta_{отв} + \delta_{кп}), \quad (3)$$

где b_M – расстояние от края просверленного отверстия до края КП, для плат, выполненных по 3 классу точности $b_M = 0,1$ мм;

d_{max} – максимальный диаметр просверленного отверстия;

$\delta_{отв}$ – допуск на расположения отверстий;

$\delta_{кп}$ – допуск на расположение контактных площадок.

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1...0,15), \quad (4)$$

где Δd – допуск на отверстие, примем равным 0,02 мм.
значение в скобках примем равным 0,13 мм.

Подставив значения получим:

$$d_{max1} = 0,9 + 0,02 + 0,13 \text{ мм.}$$

$$d_{max2} = 1,2 + 0,02 + 0,13 \text{ мм.}$$

$$d_{max3} = 1,4 + 0,02 + 0,13 \text{ мм.}$$

Получаем: $d_{max1} = 1,05$ мм;

$$d_{max2} = 1,35 \text{ мм;}$$

$$d_{max3} = 1,55 \text{ мм;}$$

$$\delta_{отв} = \delta_o + \delta_б, \quad (5)$$

где δ_o – погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка, примем равной 0,06 мм.

$\delta_б$ – погрешность базирования плат на сверлильном станке, примем 0,02 мм.

$$\delta_{отв} = 0,06 + 0,02$$

Получаем: $\delta_{отв} = 0,06$ мм;

$$\delta_{\text{кп}} = \delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{э}} + \frac{\delta_{\text{п}} + \delta_{\text{з}}}{2}, \quad (6)$$

где $\delta_{\text{ш}}$ – погрешность расположения контактной площадки относительно координатной сетки на фотошаблоне, примем значения 0,05 мм;

$\delta_{\text{э}}$ – погрешность расположения контактной площадки при ее экспонировании, примем 0,02 мм;

$\delta_{\text{п}}$ – погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне, примем 0,02 мм;

$\delta_{\text{з}}$ – погрешность расположения базовых отверстий на заготовке, примем 0,02 мм.

$$\delta_{\text{кп}} = 0,05 + 0,02 + \frac{0,02 + 0,02}{2}$$

Получаем: $\delta_{\text{кп}} = 0,09$ мм;

По известным значениям рассчитаем D_{min1} и $D_{1\text{min1}}$ для выводов с диаметром 0,75 мм:

$$D_{1\text{min1}} = 2\left(0,1 + \frac{1,05}{2} + 0,06 + 0,09\right)$$

Получаем: $D_{1\text{min1}} = 1,55$ мм,

$$D_{\text{min1}} = 1,55 + (1,5 \cdot 0,035)$$

Получаем: $D_{\text{min1}} = 1,6$ мм.

По известным значениям рассчитаем D_{min2} и $D_{1\text{min2}}$ для выводов с диаметром 1,1 мм:

$$D_{1\text{min2}} = 2\left(0,1 + \frac{1,35}{2} + 0,06 + 0,09\right)$$

Получаем: $D_{1min2} = 1,85$ мм,

$$D_{min2} = 1,85 + (1,5 \cdot 0,035)$$

Получаем: $D_{min2} = 1,9$ мм.

По известным значениям рассчитаем D_{min3} и D_{1min3} для выводов с диаметром 0,75 мм:

$$D_{1min3} = 2(0,1 + \frac{1,55}{2} + 0,06 + 0,09)$$

Получаем: $D_{1min3} = 2,05$ мм,

$$D_{min3} = 2,05 + (1,5 \cdot 0,035)$$

Получаем: $D_{min3} = 2,1$ мм.

Максимальный диаметр КП

$$D_{max} = D_{min} + (0,02...0,06), \quad (7)$$

Подставим значения и получим:

$$D_{max1} = 1,6 + 0,04$$

$$D_{max2} = 1,9 + 0,04$$

$$D_{max3} = 2,1 + 0,04$$

Для выводов диаметром $D_{max1} = 1,64$ мм.

Для выводов диаметром $D_{max2} = 1,94$ мм.

Для выводов диаметром $D_{max3} = 2,14$ мм.

Минимальная ширина сигнальных проводников для ДПП, изготовленных химическим негативным методом, определяется по формуле [10]:

$$t_{min} = t_{min} + 1,5h_{\phi}, \quad (8)$$

где t_{1min} – минимальная эффективная ширина проводников, для плат 3 класса точности $t_{1min} = 0,25$ мм.

Поставим значения в формулу и получим:

$$t_{min} = 0,25 + (1,5 \cdot 0,035)$$

Получаем: $t_{min} = 0,3025$ мм скорректируем значение до 0,3 мм.

Для 3 класса точности табличное $t_{min} = 0,25$ мм.

Полученное значение больше минимальной ширины проводника, определяемой классом точности, следовательно, минимальную ширину проводника примем равным табличному значению $t_{min} = 0,25$ мм.

Максимальная ширина сигнальных проводников определяется

$$t_{max} = t_{min} + (0,02...0,06), \quad (9)$$

Приняв значение в скобках равным 0,04 мм подставим и получим:

$$t_{max} = 0,25 + 0,04$$

$$t_{max} = 0,29 \text{ мм.}$$

Минимально допустимую ширину проводников по постоянному току цепей питания и заземления с учетом допустимой токовой нагрузки определяют по формуле [10]:

$$t_{min \text{ ПИ}} = I_{max} / (j_{\text{доп}} h), \quad (10)$$

где I_{max} – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках, в нашем случае 0,5 А;

$j_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, для химического негативного способа изготовления ОПП $j_{\text{доп}} = 20$ А/мм²;

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

h – толщина печатного проводника. Для ДПП, выполненных химическим негативным методом, толщина слоя задана $h = 0,035$ мм.

Подставим значения и получим:

$$t_{min\ nI} = 0,5 / (20 \cdot 0,035)$$

$$t_{min\ nI} = 0,71 \text{ мм.}$$

Найдем минимальную допускаемую ширину проводника питания и заземления. Рассчитываемая конструкция выполнена химическим негативным методом и поэтому состоит из однородного слоя меди. Минимальная ширина проводника рассчитывается по формуле [10]:

$$t_{min\ n} = I_{max} \rho l / (U_{доп} h), \quad (11)$$

где ρ – удельное сопротивление слоя меди, $\rho = 1,72 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

l – максимально допустимая длина проводника, $l = 40$ мм;

$U_{доп}$ – запас помехоустойчивости интегральных микросхем, в нашем случае равна 5 В.

Подставим значения, получим:

$$t_{min\ n} = 0,5 \cdot 1,72 \cdot 10^{-3} \cdot 40 / (5 \cdot 0,035)$$

Получим:

$$t_{min\ n} = 0,49 \text{ мм.}$$

Исходя из класса точности, ширину проводников питания принимаем:

$$t_{min\ nI} = t_{min\ n} = 0,75 \text{ мм.}$$

Максимальное значение ширины проводника питания, следовательно, будет равно:

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

$$t_{max \Pi} = t_{min \Pi} + (0.02...0.06), \quad (12)$$

Получим:

$$t_{max \Pi} = 0,49 + 0,04$$

$$t_{max \Pi} = 0,53 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой определяется по формуле [10]:

$$L_{01} = S_{min} + [(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{кп}) + (\frac{t_{max}}{2} + \delta_t)], \quad (13)$$

где L_{01} – расстояние между центрами рассматриваемых элементов;

δ_t – допуск на расположение проводников относительно координатной сетки на фотошаблоне, исходя из таблицы, примем равным 0,2 мм;

S_{min} – минимальное расстояние между элементами печатного рисунка, определяется из таблицы и для 3 класса точности, $S_{min} = 0,25$ мм.

Подставим значения, получим:

Для выводов с диаметром 0,75 мм.

$$L_{01} = 0,25 + [(\frac{1,94}{2} + 0,09) + (\frac{0,79}{2} + 0,2)]$$

$$L_{01} = 1,905 \text{ мм.}$$

Для выводов с диаметром 1,1 мм.

$$L_{01} = 0,25 + [(\frac{2,24}{2} + 0,09) + (\frac{0,79}{2} + 0,2)]$$

$$L_{01} = 2,055 \text{ мм.}$$

Для выводов с диаметром 1,3 мм.

$$L_{01} = 0,25 + \left[\left(\frac{2,44}{2} + 0,09 \right) + \left(\frac{0,79}{2} + 0,2 \right) \right]$$

$$L_{01} = 2,155 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками [10]:

$$L_{02} = S_{min} + (D_{max} + 2\delta_{кп}), \quad (14)$$

Подставим значения, получим:

Для выводов с диаметром 0,75 мм.

$$L_{02} = 0,25 + (1,94 + (2 \cdot 0,09))$$

$$L_{02} = 2,37 \text{ мм.}$$

Подставим значение с учетом координированной сетки и получим:

$$L_{02} = 2,5 \text{ мм.}$$

Для выводов с диаметром 1,1 мм.

$$L_{02} = 0,25 + (2,24 + (2 \cdot 0,09))$$

$$L_{02} = 2,67 \text{ мм.}$$

Подставим значение с учетом координированной сетки и получим:

$$L_{02} = 3 \text{ мм.}$$

Для выводов с диаметром 1,3 мм.

$$L_{02} = 0,25 + (2,44 + (2 \cdot 0,09))$$

$$L_{02} = 2,87 \text{ мм.}$$

Подставим значение с учетом координированной сетки и получим:

$$L_{02} = 3 \text{ мм.}$$

Значение L_{02} должно быть кратно шагу координатной сетки, поэтому увеличиваем его до 3 мм.

Минимальное расстояние между двумя проводниками

$$L_{03} = S_{min} + (t_{max} + 2 \cdot \delta_t), \quad (15)$$

Подставим значения, получим:

$$L_{03} = 0,25 + (0,79 + (2 \cdot 0,2))$$

$$L_{03} = 1,44 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние для прокладки двух проводников между двумя контактными площадками определяется по формуле [10]:

$$L_{1min} = S_{min} \cdot (n + 1) + (t_{max} + \delta_t) \cdot n + \left(\frac{D_{1max} + D_{2max} + D_{3max}}{3} + 2 \cdot \delta_{кп} \right), \quad (16)$$

где S_{min} – минимальное расстояние между элементами печатного рисунка, определяется из таблицы и для 3 класса точности, $S_{min} = 0,25$ мм.

D_{1max} , D_{2max} и D_{3max} – максимальные диаметры контактных площадок металлизированных отверстий;

n – количество проводников, $n=2$.

Подставим значения и получим:

$$L_{1min} = 0,25 \cdot (2 + 1) + (0,79 + 0,2) \cdot 2 + \left(\frac{1,94 + 2,24 + 2,44}{3} + 2 \cdot 0,09 \right)$$

$$L_{1min} = 5,11 \text{ мм.}$$

Скорректируем значение с учетом координатной сетки и получим:

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

$$L_{1min} = 5,5 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние для прокладки двух проводников между не металлизированным отверстием и краем платы [10]:

$$L_{5min} = S_{min} \cdot (n-1) + (t_{max} + \delta_t) \cdot n + 2 \cdot a + \left(\frac{d_{1max}}{2} + \delta_{отв} \right), \quad (17)$$

где $n=2$;

d_{1max} – максимальный диаметр не металлизированного отверстия на печатной плате $d_{1max} = 4,2$ мм.;

a – расстоянию от края платы выреза не металлизированного отверстия до печатного проводника. Для ПП толщиной $a = h_{пп} = 2$ мм.

Подставим значение и получим:

$$L_{5min} = 0,25 \cdot (2-1) + (0,79 + 0,2) \cdot 2 + 2 \cdot 2 + \left(\frac{4,2}{2} + 0,06 \right)$$

$$L_{5min} = 8,39 \text{ мм.}$$

Скорректируем значение с учетом координированной сетки и получим:

$$L_{5min} = 8,5 \text{ мм.}$$

В ходе вычисления получили значения:

Таблица 3.3 – Расчётные значения.

Минимальный диаметр КП (D_{min})	1,6 мм для вывода диаметром 0,75 мм.
	1,9 мм для вывода диаметром 1,1 мм.
	2,1 мм для вывода диаметром 1,3 мм.
Максимальный диаметр КП (D_{max})	1,64 мм для вывода диаметром 0,75 мм.
	1,94 мм для вывода диаметром 1,1 мм.
	2,14 мм для вывода диаметром 1,3 мм.

Минимальная ширина сигнального проводника (t_{min})	0,25 мм.
Максимальная ширина сигнального проводник (t_{max})	0,29 мм.
Минимальная ширина проводника питания и заземления ($t_{min п}$)	0,49 мм.
Максимальная ширина проводника питания и заземления ($t_{max п}$)	0,53 мм.
Минимальное расстояние между проводником и КП (L_{01})	1,905 мм для вывода диаметром 0,75 мм 2,055 мм для вывода диаметром 1,1 мм. 2,155 мм для вывода диаметром 1,3 мм.
Минимально расстояние между двумя КП (L_{02})	2,5 мм для вывода диаметром 0,75 мм 3 мм для вывода диаметром 1,1 мм. 3 мм для вывода диаметром 1,3 мм.
Минимальное расстояние между двумя проводниками (L_{03})	1,44 мм.
Минимальное расстояние для прокладки 2-х проводников между КП (L_{1min})	5,11 мм скорректировано до 5,5 мм.
Минимальное расстояние для прокладки проводников между не металлизированным отверстием и краем платы (L_{5min})	8,39 мм скорректировано до 8,5 мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

110303.2020.245.00.00 ПЗ

Лист

30

3.5 Размещение элементов

Размещение – это взаимное размещение элементов, при котором наилучшим образом учитываются предъявляемые к проектируемой аппаратуре требования.

Главной целью размещения является создание наилучших условий для трассировки.

Критерии размещения элементов:

- 1) Минимальная суммарная длина проводников.
- 2) Минимальное количество пересечений проводников.
- 3) Минимальное расстояние между элементами.

В качестве программного обеспечения для проектирования печатных плат можно использовать автоматические системы проектирования: Mentor Graphics Pads, OrCAD, Altium Designer, PCAD 2006, и другие.

Программу обеспечения для проектирования печатной платы я решил выбрать: Altium Designer [6].

Для начал мы рассмотрим размещение элементов на схеме электрической принципиальной (СЭП).

Для размещения элементов как на СЭП, так и на ПП была создана библиотека ЭРЭ с двухмерным и трехмерным видом. Размещаем элементы на схеме и соединяем нужный вывода с проводниками для создания связей между элементами, более подробно видно в приложение В (Рисунок 3.7).

Рисунок 3.7 – Схема электрическая принципиальная.

После завершения с СЭП переходим к ПП, так как не были выдвинуты ни какие требования по размещению радиоэлементов, размещение элементов производил, соблюдая все критерии вышеописанные (Рисунок 3.8).

Рисунок 3.8 – Размещение элементов на печатной плате.

3.6 Разработка топологии печатного узла

Топология печатного узла – это чертеж соединительных проводов, расположенных в соответствующем слое платы.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

Конструкция современных радиоэлектронных устройств основана на печатных платах, функциональные ячейки радиоэлектронных средств, как правило, представляют собой печатные платы с установленным электрорадиооборудованием (ЭРИ). Печатные платы (ПП) образуют изолирующую подложку и используют печатный монтаж, печатный монтажный комплект из печатных проводников, обеспечивающий возможность электрического соединения элементов схемы. Печатная проводник представляет собой простейший элемент ПП-часть проводящего покрытия, нанесенного на изоляционную основу.

Критерии выполнения трассировки печатного узла:

- 1) Минимальное количество слоев печатной платы;
- 2) Минимальное количество изгибов проводников;
- 3) Минимальная суммарная длина проводников;
- 4) Равномерное расположение проводников;
- 5) Минимальная протяженность параллельно расположенных соседних проводников;
- 6) Минимально пересечений проводников;
- 7) Отсутствие наложения друг на друга цепей питания, короткого замыкания (КЗ).

После того как в Altium Designer создали схему электрическую принципиальную, с двух и трехмерными моделями всех электрорадиоэлементы.

Создаем печатную плату нужного размера с отношением сторон: 3:1 (Рисунок 3.9).

Рисунок 3.9 – Печатная плата.

После создания ПП, произвели импортирования двухмерных и трехмерных моделей с схемы электрической принципиальной и размещение элементов на печатной плате (Рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Размещение элементов.

Устанавливаем правила трассировки в Altium Designer:

1) Расстояние между контактной площадкой (КП) и проводником берем равным 2,5 мм (Рисунок 3.11).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

Рисунок 3.11 – Расстояние между КП и Проводником.

2) Задаем ширину сигнальных проводников, минимальную равной 0,25 мм и максимальную 0,29 мм и среднюю равную 0,27. (Рисунок 3.12).

Задаем ширину проводников питания и заземления минимальную равной 0,49 мм и максимальную 0,53 мм и среднюю равную 0,5. (Рисунок 3.13).

Рисунок 3.12 – Ширина сигнальных проводников.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35

Рисунок 3.13 – ширина проводников питания и заземления.

3) Выбираем топологию соединения: Самый короткий (Shortest) (Рисунок 3.14).

Рисунок 3.14 – Топология соединения.

4) Выбираем слои маршрутизации печатной платы: Top Layer и Bottom Layer (Верхний слой и Нижний слой) (Рисунок 3.15).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

Рисунок 3.15 – Слои маршрутизации.

5) Указываем минимальную и максимальную длину угла трассы: минимальное значение 0,5 мм , максимальное значение 2,5 мм и выбираем угол 45° (Рисунок 3.16).

Рисунок 3.16 – Углы трассы.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

б) Указываем маршрутизацию переходных отверстий: отверстие: минимальное 1,35 мм, максимальное 1,85 мм и среднее 1,65 мм, переходное отверстие: минимальное 1,6 мм, максимальное 2,1 мм и среднее 1,9 мм (Рисунок 3.17).

Рисунок 3.17 – Маршрутизация переходного отверстия.

7) Задаем значения, применяющиеся для всех слоев, минимальную ширину проводника и расстояние между проводниками (Рисунок 3.18).

Рисунок 3.18 – Значения, применяющиеся для всех слоев.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

После того как установил все данные правила для трассировки печатной платы и разместил все ЭРЭ, запускаем автоматическую трассировку (Рисунок 3.19).

Рисунок 3.19 – Трассировка ПП.

3.7 Разработка сборочных чертежей печатного узла для лабораторного стенда СГУ–УН

Создаем рамку по ГОСТу формата А1, создаем контур печатной платы в масштабе 1:1, выставляем размеры печатной платы для справок. Создаем вид печатной платы с боку. Начинаем рисовать упрощённое изображение, два варианта изображения:

- 1) Упрощённое изображение изображаем по размерам, указанным в ГОСТ либо ОСТ.
- 2) Упрощённое изображение изображаем по размерам корпуса.

Начинаем изображать с резисторов, 2 вида размеров резистора (Рисунок 3.2) и (Рисунок 3.21).

Рисунок 3.2 – SMD Резистор 1206.

Резистор 3.21 – SMD Резистор 0805.

Изображаем упрощённое изображение конденсатора, 2 вида (Рисунок 3.22) и (Рисунок 3.23), и полярный конденсатор (Рисунок 3.24).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Рисунок 3.22 – SMD Конденсатор 1206.

Рисунок 3.23 – SMD Конденсатор 1210.

Рисунок 3.24 – SMD Конденсатор полярный 6032.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

Изображаем упрощённое изображение электромагнитных реле, 2 вида
(Рисунок 3.25) и (Рисунок 3.26).

Рисунок 3.25 – Электромагнитное реле 1 линейное.

Рисунок 3.26 – Электромагнитное реле 2 линейное.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

Изображаем упрощённое изображение диоды (Рисунок 3.27) и светодиода (Рисунок 3.28)

Рисунок 3.27 – Диод 1N4148WS.

Рисунок 3.28 – SMD Светодиод.

Изображаем упрощённое изображение стабилизатора (Рисунок 3.29).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

Рисунок 3.29 – Стабилизатор L7812CV.

Изображаем упрощённое изображение транзистор (Рисунок 3.3).

Рисунок 3.3 – Транзистор КТ972.

Изображаем упрощённое изображение переключатель (Рисунок 3.31) и галетный переключатель (Рисунок 3.32).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

Рисунок 3.31 – Переключатель.

Рисунок 3.32 – Галетный переключатель.

Изображаем упрощённое изображение потенциометр (Рисунок 3.33).

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

Рисунок 3.33 – Потенциометр.

Изображаем упрощённое изображение штыревые соединители: 1 контакт (Рисунок 3.34), 2 контактный (Рисунок 3.35), 3 контактный (Рисунок 3.36), 4 контактный (Рисунок 3.37) и 5 контактный (Рисунок 3,38).

Рисунок 3.34 – Штыревой соединитель, 1 контакт.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

Рисунок 3.35 – Штыревой соединитель, 2 контакта.

Рисунок 3.36 – Штыревой соединитель, 3 контакта.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

Рисунок 3.37 – Штыревой соединитель, 4 контакта.

Рисунок 3.38 – Штыревой соединитель, 5 контакта.

В приложение Е отображены все упрощённые элементы в соответствии с их местом установки.

Необходимо указать, как устанавливаются компоненты на ПП. Установка компонентов на примере: Транзистора и стабилизатора (Рисунок 3.39), диода

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

(Рисунок 3.4), резистора (Рисунок 3.41), конденсатора (Рисунок 3.42) и переключателя (Рисунок 3.43), штыревой соединитель (Рисунок 3.44).

Рисунок 3.39 – Установка транзистора и стабилизатора.

Рисунок 3.4 – Установка диода.

Рисунок 3.41 – Установка резистора.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

Рисунок 3.42 – Установка конденсатора.

Рисунок 3.43 – Установка переключателя.

Рисунок 3.44 – Установка штыревой соединитель.

3.8 Разработка трехмерной модели печатного узла.

С помощью программного обеспечения Altium Designer, после создания двухмерного изображения можно изменить вид изображения с двухмерного на трехмерный.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

Перед тем как нарисовали СЭП, необходимо было создать библиотеку, компонентов, в элемент входит, УГО элемента, двухмерное изображение и 3D – модель элемента.

Чтобы создать трехмерную модель элемента, для удобства создаем в программном обеспечении Autodesk Inventor и загружаем готовое изображение в Altium Designer: Микросхема (Рисунок 3.45), резистор (Рисунок 3.46), конденсатор (Рисунок 3.47), потенциометр (Рисунок 3.48), стабилизатор (Рисунок 3.49), транзистор (Рисунок 3.5), диод (Рисунок 3.51), переключатель (Рисунок 3.52), галетный переключатель (Рисунок 3.53) и штыревой соединитель (Рисунок 3.54).

Рисунок 3.45 – Трехмерное изображение микросхемы.

Рисунок 3.46 – Трехмерное изображение резистор.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

Рисунок 3.47 – Трехмерное изображение конденсатор.

Рисунок 3.48 – Трехмерное изображение потенциометр.

Рисунок 3.49 – Трехмерное изображение стабилизатор.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

Рисунок 3.5 – Трехмерное изображение транзистор.

Рисунок 3.51 – Трехмерное изображение диод.

Рисунок 3.52 – Трехмерное изображение переключатель.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53

Рисунок 3.53 – Трехмерное изображение галетный переключатель.

Рисунок 3.54 – Трехмерное изображение штыревой соединитель.

После того как все элементы размещены, выполнена трассировка, можно выполнять, обратите внимание на приложение Ж (Рисунок 3.56).

Рисунок 3.56 – 3D – модель печатного узла.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован печатный узел учебного лабораторного стенда СГУ–УН. При разработке функциональных узлов были определены класс точности (3 класс точности), необходимые тип (двуслойная), размеры печатной платы (450x150x2).

Шаг сетки выбран 2,5 мм согласно ГОСТ Р 51040–97 «Платы печатные. Шаги координатной сетки».

При выборе материала печатной платы учитывали тот факт, что он должен обладать хорошими электроизоляционными свойствами, высокой механической прочностью, а также иметь хороший диэлектрический слой. В качестве материала выбран стеклотекстолит фольгированный СФ–2–35–2.

Требования технического задания были выполнены.

В процессе разработки печатных плат использовались такие САПР, как Autodesk Inventor, Altium Designer, AutoCAD, Компас.

В программе Autodesk Inventor были созданы трехмерных моделей элементов согласно перечню к принципиальной электрической схеме и установка печатного узла в стенде СГУ–УН

AutoCAD использовался для создания сборочного чертежа и чертежа печатной платы.

Компас применялся для работы с трехмерной моделью учебного лабораторного стенда СГУ–УН.

В программе Altium Designer применялся для работы с схемой электрической принципиальной, платой печатной.

Проведены расчеты конструктивно-технологических параметров печатного рисунка.

Учебный лабораторный стенд СГУ–УН стенд который уже был создан ранее и используется в нескольких учебных организациях России. Был создан для выполнения учебных лабораторных заданий по теме: «Гидропривод, гидроавтоматика и автоматизация технологических процессов», в размере 49

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

различных лабораторных заданий. Основной и главной задачей которая была поставлена, это облегчить, уменьшить и усовершенствовать способ сборки, настройки и ремонтпригодность стенда СГУ–УН.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование и технология РЭС: Методические указания по дипломному проектированию / Составители: Б.В. Пермяков, В.Н. Степаненко; под ред. Б.В. Пермякова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 40 с.
2. Справочник конструктора РЭА: общие принципы конструирования. Под ред. Варламова Р. Г. М.: Сов. радио, 1980 – 480 с.
3. ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры: Государственный стандарт Российской Федерации – М.:Госстандарт России 1997 г.
4. ГОСТ Р 51040-97 Платы печатные. Шаги координатной сетки: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – М.: Стандартинформ 2009 г.
5. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник/ Е.В. Пирогова. – М.: ФОРУМ: ИНФА-М, 2005 г. – 560с.
6. Сабунин, А.Е. Altium Designer Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. – М.: Солон-пресс, 2009 г. – 432с.
7. ГОСТ 10317-79 Платы печатные. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1541. – 3 с.
8. ГОСТ 25346-89 Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. – М.: Изд-во стандартов, 2764. – 23 с.
9. ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП Поля допусков и рекомендуемые посадки– М.: Изд-во стандартов, 983. – 60 с.
10. Кудрин, Л.П. Конструктивно-технологические параметры печатных плат: учебное пособие / Л.П. Кудрин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 11 с.

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ЭРЭ - Электрорадиоэлементы;

ПП – Печатная плата;

ЭРИ – Электрорадиоизделия;

ДПП – Двухсторонняя печатная плата;

КП – Контактная площадка;

ПУ – Печатный узел

ОПП – Односторонняя печатная плата;

СГУ–УН – Гидропривод, гидроавтоматика и автоматизация технологических процессов;

КЗ – Короткое замыкание;

СЭП – Схема электрическая принципиальная;

УГО – Условное графическое обозначение;

					110303.2020.245.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58