

Министерство просвещения Российской Федерации  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЁЖНОЙ  
ПОЛИТИКИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ  
МУНИЦИПАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОД  
КРАСНОДАР ГИМНАЗИЯ № 23 ИМЕНИ ГЕРОЯ СОВЕТСКОГО СОЮЗА  
НИКОЛАЯ ЖУГАНА  
(МАОУ ГИМНАЗИЯ № 23)

УДК 621.3

УТВЕРЖДАЮ  
Директор МАОУ гимназия № 23  
\_\_\_\_\_ О. Ф. Позднякова  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ  
по теме:  
МОДУЛЬНАЯ МНОГОВАРИАТИВНАЯ СИСТЕМА «УМНЫЙ ДОМ»

Автор проекта: Рожков Александр Владимирович,  
учащийся 10 класса  
Руководитель проекта: Есин Виктор Алексеевич,  
учитель технологии

Краснодар 2022

## РЕФЕРАТ

Отчёт 83 с., 1 кн., 8 рис., 3 табл., 25 источн., 4 прил.

УМНЫЙ ДОМ, ЭЛЕКТРОНИКА, ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ, СТАНКИ С ЧПУ,  
АВТОМАТИЗАЦИЯ, МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

Объектом работы являются информационные технологии и электроника.

Цель работы - разработать и изготовить систему «умный дом», используя технологию изготовления печатных плат способом гравировки.

В процессе работы проводились исследования технологий изготовления печатных плат, анализ возможных способов реализации систем автоматизации.

В результате работы была создана новая модульная система «умный дом», состоящая из 8 типов устройств: сервер, 3 типа модулей связи, 3 типа исполнительных модулей, модуль питания.

Результаты исследования могут применяться для мелкосерийного производства двусторонних печатных плат. Готовая система может применяться в частных домах и квартирах.

Система экономически выгодна, так как имеет расширенный функционал и сравнительно невысокую стоимость. Технология изготовления экономически целесообразна при малых объёмах производства.

Система имеет большой потенциал для расширения и улучшения. Заложенные решения позволяют добавлять новые возможности без внесения существенных изменений.

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ	8
1.1 Историческая справка	8
1.2 Существующие решения	8
1.3 Требования к создаваемой системе	9
1.4 Структура сети устройств и способы связи	10
1.5 Виды электронных устройств и их особенности	12
1.6 Сравнение технологий изготовления печатных плат	13
1.7 Особенности технологии гравировки печатных плат	15
1.7.1 Кривизна поверхности заготовки	15
1.7.2 Режущий инструмент	16
1.7.3 Переходные отверстия	16
1.7.4 Позиционирование заготовки и совмещение слоёв платы	16
1.7.5 Паяльная маска	17
1.7.6 Фрезерование по контуру платы	18
1.8 Выбор электронных компонентов	19
1.8.1 Выбор микроконтроллеров	19
1.8.2 Связь по Ethernet	20
1.8.3 Связь по RS-485	20
1.9 Корпуса для устройств	20
1.9.1 Крепление на монтажную рейку	20
1.9.2 Анализ материалов для 3д печати	21
Глава 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ	23
2.1 Модули, которые будут созданы	23
2.2 Прототипирование	23
2.3 Разработка принципиальных электрических схем	25
2.4 Разработка моделей печатных плат	25
2.5 Создание G-code	26
2.6 Корпуса устройств	28

2.6.1 Соединение устройств друг с другом	28
2.6.2 Варианты установки модулей	28
2.6.3 Крепление на монтажную рейку	29
<b>Глава 3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ</b>	<b>31</b>
3.1 Основные средства создания и структура системы	31
3.2 Программирование микроконтроллеров	31
3.3 Протокол связи	31
3.4 Программные возможности системы	32
3.5 Перспектива	33
<b>Глава 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ</b>	<b>34</b>
4.1 Оборудование и специальные приспособления	34
4.1.1 Фрезерный станок с ЧПУ	34
4.1.2 Приспособление для нанесения паяльной маски	36
4.1.3 Печь для отверждения маски	36
4.2 Последовательность операций	37
4.3 Пайка и прошивка контроллеров	38
4.4 Изготовление корпусов	39
<b>Глава 5. ОЦЕНКА ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЫ</b>	<b>40</b>
5.1 Оценка технологии изготовления	40
5.2 Оценка пользовательского интерфейса	41
5.3 Экономическая оценка	41
5.4 Экологическая оценка	42
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>43</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>44</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	<b>47</b>
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	50
ПРИЛОЖЕНИЕ В	67
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	79

## **ВВЕДЕНИЕ**

За последние несколько десятков лет информационные технологии совершили невероятный скачок. Открылись возможности для разработки уникальных электронных устройств для автоматизации многих рутинных процессов. Сделать жизнь человека более комфортной и безопасной призвана система «умный дом».

Актуальность проекта обуславливается тем, что такие системы востребованы в современном мире. Время, которое позволяет сэкономить «умный дом», человек может потратить на отдых или обучение. Подобная система позволяет улучшить качество жизни человека. Предмет исследования в рамках данного проекта соответствует теме «Идеи, преобразующие мир».

Современному человеку важно не тратить своё драгоценное время на простые процессы. Например, не хочется задумываться о температуре в доме, включать и выключать свет. Очень важно защитить дом от пожара, потопа, краж. Эту задачу выполняют существующие охранные системы, пожарные сигнализации, датчики протечки воды. Но объединить в себе все перечисленные функции могут только очень дорогие и сложные системы, которые имеют очень высокую стоимость, требуют установки ещё на этапе постройки дома или квартиры (установить такую систему в уже готовые помещения – сложная и дорогая задача), а также требуют участия высококвалифицированного специалиста для установки и настройки.

Наряду со сложными дорогостоящими системами, на рынке существуют доступные по цене устройства, которые, выполняют только простейшие задачи, не требуют сложной настройки и просты в установке. Однако они не обладают всем функционалом, которым наделены более сложные системы.

Существует множество способов изготовления электронных устройств. Например, можно создать прототип при помощи отладочных плат Arduino и готовых модулей для них. Однако, такой способ не позволяет создать готовое

устройство, способное на длительную работу без сбоев. Кроме того, такие устройства имеют большой размер. Для удовлетворения потребностей обычного пользователя подобное решение совершенно не подходит.

В связи с этим возникла идея разработки системы, не имеющей недостатков вышеперечисленных систем и устройств. Для такой цели подходят устройства на основе печатных плат, которые совместят в себе достоинства как сложных систем, так и простых устройств.

Существуют несколько технологий изготовления печатных плат в условиях небольшого производства: «лазерно-утюжная» (ЛУТ) технология, способ с использованием плёночного фоторезиста и малораспространённый метод гравировки на фрезерном или гравировальном станке с ЧПУ. Несомненным плюсом последнего способа изготовления является то, что не используются химические реагенты, также большую часть времени изготовления затрачивается на гравировку платы, следовательно участие человека на этом этапе не требуется. Малое распространение эта технология имеет в связи с тем, что для неё требуется дорогостоящее оборудование (фрезерный или гравировальный станок). В современных школах подобные устройства есть, поэтому представляется возможным освоение данной технологии в условиях школы или небольшой мастерской.

Цель проекта: разработать и изготовить систему «умный дом», используя технологию изготовления печатных плат способом гравировки.

Задачи проекта:

1. осуществить выбор оптимальных решений для применения в готовом изделии,
2. разработать техническую и технологическую документацию для создания электронных устройств,
3. разработать программное обеспечение для работы системы,
4. освоить технологию изготовления печатных плат способом гравировки,
5. изготовить устройства,

6. осуществить тестирование созданного программно-аппаратного комплекса,
7. выполнить оценку проделанной работы.

## **Глава 1. ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ**

Умный дом (англ. smart house) — система домашних устройств, способных выполнять действия и решать определённые повседневные задачи без участия человека. Наиболее распространенные примеры автоматических действий в «умном доме» — автоматическое включение и выключение света, автоматическая коррекция работы отопительной системы или кондиционера и автоматическое уведомление о вторжении, возгорании или протечке воды.

### **1.1 Историческая справка**

Первые, единичные попытки домашней автоматизации в современном понимании появились середине XX века. Наиболее известными были «Дом с кнопками» (Push-Button Manor, 1950) американского инженера Эмиля Матиаса, где расположенные по всему дому кнопки автоматизировали выполнение основных бытовых задач, и компьютер Echo IV (1966) американского инженера Джеймса Сазерленда [12].

В СССР в 1987 году был разработан проект радиоэлектронного оснащения жилища «СФИНКС», по своей сути напоминающий идею современного умного дома. Главной изюминкой проекта был главный центральный процессор, состоящий из нескольких блоков, а также пульты управления — «малый» пульт со съемным дисплеем и большой с псевдосенсорными клавишами. Как ручной, так и большой пульт содержат микрофоны управления голосом [12].

### **1.2 Существующие решения**

В ходе исследования был произведён поиск современных систем «умный дом». Найденные решения можно условно разделить на две группы:

- Недорогостоящие простые отдельные устройства, позволяющие создать несложную систему для решения узкого спектра задач. Установка происходит очень просто, например, умная розетка вставляется в стандартную розетку, а умная лампочка вкручивается в обычновенный патрон. Настройка не требует особых знаний и умений.

- Сложные дорогостоящие системы, которые требуют установки на этапе чернового ремонта помещений, настройку производит специалист. Функционал таких систем практически безграничен, однако, всегда требуется проектирование. Стоимость таких решений также поражает воображение.

### **1.3 Требования к создаваемой системе**

В ходе исследования была поставлена цель создать систему, совмещающую в себе преимущества обеих групп, которую можно установить как на раннем этапе строительства, так и в готовые помещения с минимальными изменениями. Данная система должна легко монтироваться, чтобы осуществить её настройку мог человек, не обладающий специальными знаниями и умениями. Также важную роль имеет стоимость такой системы: она не должна существенно превышать стоимость простых устройств. В дополнение немаловажна возможность постепенного расширения системы. Также обязательным является выполнение требований экологической безопасности: выбранные материалы не должны выделять вредных веществ при изготавлении и работе.

Во время исследования требовалось определить функции и свойства, которыми должна обладать система. Как уже было упомянуто выше, система должна совмещать достоинства как недорогих существующих решений, так и дорогостоящих. В ходе исследования в сети интернет были определены функции, которыми должна быть наделена система:

1. управление светом и подсветкой;
2. контроль температуры, освещённости и других параметров при помощи датчиков;
3. управление системами отопления и кондиционирования;
4. управление прочей силовой нагрузкой;
5. возможность подключения актуаторов и сервоприводов;
6. работа по заранее заданным сценариям, по расписанию;

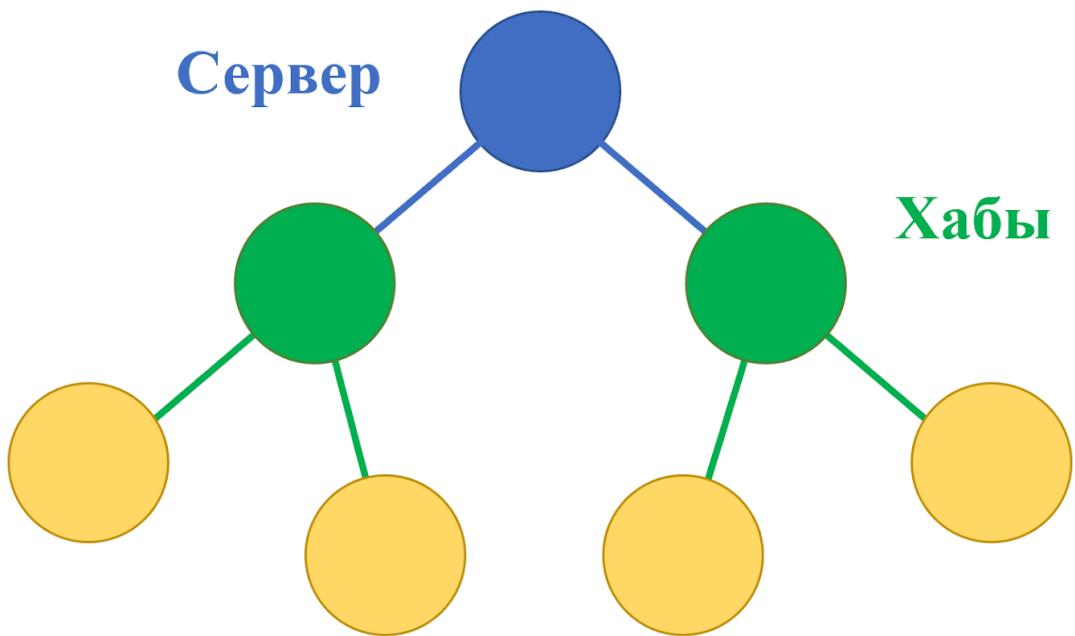
## 7. управление системой при помощи компьютера, мобильных устройств.

Управлять светом можно при помощи реле, симисторов и транзисторов. Контроль показателей осуществляется при помощи аналоговых и цифровых датчиков. Системы отопления и кондиционирования также управляются при помощи реле или транзисторов, точно так же, как и остальная силовая нагрузка. Сервоприводы обычно управляются по цифровому протоколу при помощи микроконтроллера. За работу по сценариям и управление при помощи компьютера и мобильных устройств будет отвечать сервер.

### **1.4 Структура сети устройств и способы связи**

Важным является выбор способов связи модулей между собой. В современной электронике существует множество протоколов и способов связи. Например, беспроводную связь можно осуществлять при помощи модулей Wifi или других радио-модулей. Для связи на большие расстояния можно использовать CAN-шины, двухпроводную связь по протоколу RS-485, Ethernet-сети. Для коммуникации устройств, расположенных рядом используются UART, I2C, I2S, OneWire, SPI. В системе «умный дом» для связи требуются все 3 категории коммуникации. Для того чтобы выбрать способы связи, сначала требуется выстроить архитектуру системы.

Основное строение можно позаимствовать у Глобальной сети Интернет. Она проверена временем и используется повсеместно. Структурой такой сети является граф-дерево (связный граф без циклов), вершинами которого являются устройства, а рёбрами выступают связи между элементами сети. Пример можно увидеть на рисунке 1. Во главе должно стоять главное устройство – сервер. Ниже в иерархии стоят хабы – устройства, которые соединяют сервер с остальными участниками сети, которые и исполняют команды, отправленные сервером.



## Исполнительные устройства

Рисунок 1 – Пример сети «дерево»

Выбор сервера – одна из основных задач исследования. В качестве сервера может выступить любой персональный компьютер. Однако система «умный дом» выдвигает ряд требований: сервер должен быть компактным, в течение долгого времени не требовать обслуживания, стоить относительно недорого. Для таких целей отлично подходят так называемые одноплатные компьютеры, например, OrangePi, RaspberryPi, Onion Omega. Перечисленные устройства отвечают вышеуказанным требованиям. Однако по ряду причин наиболее оптимальным вариантом является RaspberryPi model 4 B (2 GB). Данный «одноплатник» обладает отличным соотношением цены, производительности и компактности. Работает он на основе операционной системы Linux Raspbian OS и отлично подходит для задач небольшого сервера.

Для связи между сервером и хабами нужно использовать либо беспроводные протоколы, так как хаб может располагаться в распределительной коробке или электроощите, к которым нет возможности подвести кабель связи, либо способы связи на дальние расстояния, ведь

устройства в системе «умный дом» могут располагаться в разных частях квартиры, на улице в саду или вообще в разных зданиях. Для таких целей подходят Wifi и Ethernet. Во-первых, в подавляющем большинстве домов уже есть сеть Интернет. Добавление в неё нескольких устройств не составит труда. К тому же правила работы с ней знакомы уже большому количеству людей. Во-вторых, такие сети позволяют легко масштабировать себя и добавлять большое количество устройств без каких-либо проблем. В-третьих, оборудование для таких сетей широко распространено и стоит недорого. Однако, не всегда есть возможность такую сеть развернуть. Поэтому было решено использовать ещё один способ связи: протокол RS-485. Он позволяет включать в одну сеть до 25 устройств, расстояние между которыми может составлять до 1000 метров. При этом для связи требуются всего 2 провода. В отличие от CAN-шины он не требует сложных схем подключения и питания.

Между хабами и исполняющими устройствами расстояние, скорее всего, не будет превышать полуметра, поэтому можно использовать протоколы I2C, UART или SPI. Однако протокол UART использовать будет сложно, так как он позволяет соединить только 2 устройства между собой. То есть для каждого исполнительного устройства нужен будет свой хаб. Это дорого и неудобно. SPI использует для связи 3 провода, но к каждому устройству также требуется свой отдельный провод, по которому передаётся сигнал выбора устройства. Это ограничивает возможности хаба, так как количество выводов на нём конечно и не превышает 14. То есть к одному хабу можно подключить только 11 устройств. Протокол I2C же имеет меньшую скорость передачи, однако использует всего 2 провода и позволяет подключить до 120 устройств. Для задач системы «умный дом» не требуется передача большого массива данных, а значит скорость протокола играет не такую важную роль.

## **1.5 Виды электронных устройств и их особенности**

Следующим этапом исследования является изучение возможных способов создания электронных устройств. Например, можно изготавливать продукты на основе готовых модулей. Проектирование, сборка и программирования такого рода устройств достаточно просты, однако, надёжность, вид, компактность, удобство использования, стабильность и иные важные для готового продукта свойства оставляют желать лучшего. Другим типом устройств, который активно используется в промышленности, являются печатные платы. Такие девайсы не обладают вышеперечисленными недостатками. Это подтверждается тем, что подавляющее большинство потребительской электроники в современном мире основываются именно на печатных платах.

## **1.6 Сравнение технологий изготовления печатных плат**

Во время исследования также были изучены способы изготовления печатных плат. Основой выступает стеклотекстолитовая пластина, покрытая тонким медным слоем. Основным этапом изготовления является удаление участков меди для формирования так называемых дорожек платы. Это можно сделать несколькими способами. В промышленности, а также в условиях небольших производств используется химическое травление меди. Например, в технологии с использованием плёночного фоторезиста или в так называемом лазерно-утюжный способе (ЛУТ). Ещё одним способом является гравировка дорожек на фрезерном станке с ЧПУ. Эта технология не так распространена, имеет преимущества. Поэтому она была выбрана для исследования и применения.

В таблице 1 представлено сравнение технологий травления и механического удаления медных проводников печатных плат.

Таблица 1 – сравнение технологий травления и механического удаления медных проводников печатных плат

Критерий	Травление	Гравировка
----------	-----------	------------

Способ удаления меди	Химический: например, травление при помощи хлорного железа	Механический: гравировка с помощью конического гравера на фрезерном станке с ЧПУ
----------------------	--	--

Продолжение таблицы 1

Способ защиты участков, которые не подлежат удалению	При помощи плёночного фотополиэтилена или с помощью переноса тонера для принтера термическим способом	Гравировку осуществляет станок с ЧПУ по заранее заданным координатам
Требуемое оборудование и инструменты	Химические реактивы, плёночный фотополиэтилен, ультрафиолетовая лампа, утюг или ламинатор, прозрачная пленка для печати, струйный или лазерный принтер, приспособление для сверления малых отверстий (маленький сверлильный станок), свёрла, ножницы по металлу	Фрезерный станок с ЧПУ и оснастка к нему, конический гравер, шлифовальный бруск, надфили, свёрла, фреза типа «кукуруза», ножницы по металлу
Технологические операции	Нанесение плёночного фотополиэтилена, изготовление фотошаблона, засветка и проявка фотополиэтилена, травление платы, очистка, сверление отверстий, вырезание платы по контуру	Гравировка дорожек, сверление отверстий, фрезерование контура платы, снятие заусенцев
Особенности и сложности	Совмещение фотошаблонов верхнего и нижнего слоёв платы, сложности с химическими реактивами, сверление отверстий вручную, ручное вырезание по контуру,	Перед работой требуется построение карты высот заготовки, после гравировки остаются заусенцы, расстояние между дорожками должно быть больше диаметра гравера, требования к качеству стеклотекстолита, так как

	высокие требования к точности принтера	некачественный слой меди может отрываться и отслаиваться от подложки во время гравировки
--	--	--

Обе технологии изготовления плат имеют минусы, однако недостатки химического травления связаны именно со сложностями технологического процесса, тогда как способ гравировки требует дорогостоящего оборудования (фрезерный станок с ЧПУ). Такое оборудование есть в нашей школе, к тому же, технология гравировки интересна и с точки зрения изучения возможностей и функций станка.

### **1.7 Особенности технологии гравировки печатных плат**

Выбранная технология имеет множество особенностей, которые будут рассмотрены далее.

#### **1.7.1 Кривизна поверхности заготовки**

При применении выбранной технологии нужно учитывать, что толщина слоя меди составляет около 35 мкм, а отклонения плоскости заготовки хорошего качества (неудачные заготовки имеют и гораздо большие отклонения) могут составлять более 200 мкм. Это значит, что на некоторых участках обработки гравер будет заходить слишком глубоко, а на других, наоборот, не касаться заготовки. Одним из решений является гравировка на большую глубину, однако такое решение приводит к непредсказуемой ширине дорожек (гравер имеет коническую форму) и повышенному износу инструмента. Другим же решением является сканирование поверхности заготовки перед работой и составление карты высот поверхности. Специальная программа на основе этих данных корректирует команды для станка (G-code). Одной из таких является бесплатная программа G-code Ripper. Сканирование производится при помощи того же инструмента, которым и будет производиться гравировка. Станок в каждой из множества точек на поверхности заготовки медленно опускает инструмент и определяет,

есть ли электрический контакт между инструментом и медной поверхностью заготовки. Как только инструмент касается заготовки, появляется контакт, и станок сохраняет значение высоты данной конкретной точки в специальный файл для дальнейшей обработки программой G-code Ripper.

### **1.7.2 Режущий инструмент**

Одним из главных аспектов данной технологии является режущий инструмент – конический гравер, основным параметрами которого являются угол конуса и диаметр основания. Для гравировки плат требуется сделать рез как можно тоньше, так как это влияет на минимальное расстояние между дорожками и иными элементами. Были произведены испытания нескольких видов граверов с углом 15°, 20°, 30° и 45° и основанием 0,1 мм. По результатам тестов были выявлены следующие результаты: граверы с меньшим углом образовывали меньший заусенец и более тонкий рез, однако были очень недолговечными (быстро тупились и ломались). Самый стабильный результат получался с использованием гравера 45°, ширина реза которого составила 0,25 мм. Этого оказалось вполне достаточно, но данный параметр нужно учитывать при проектировании печатной платы.

### **1.7.3 Переходные отверстия**

Важным элементом любой двусторонней печатной платы являются переходные отверстия. Они позволяют соединять дорожки на разных сторонах платы. В промышленных решениях электрический контакт обеспечивается химической металлизацией этих отверстий. Однако для условий дома или небольшого производства этот метод слишком дорог и вреден для здоровья. Поэтому существует другой метод, но он требует больших трудозатрат: в каждое переходное отверстие вручную впаивается небольшой кусочек тонкой проволоки (можно использовать, например, жилу многожильного провода или ножку какой-нибудь радиодетали). В ходе экспериментов оптимальный результат показали отверстия диаметром 0,6 мм.

Они паяются удобнее отверстий меньшего диаметра и занимают не так много места.

#### **1.7.4 Позиционирование заготовки и совмещение слоёв платы**

При производстве плат методом гравировки важно позиционирование заготовки на рабочем столе станка. Платы, как правило, имеют 2 медных слоя с разных сторон стеклотекстолитовой подложки. Оба слоя должны быть идеально совмещены. Сделать это без направляющих отверстий практически невозможно. Так как в данном проекте одним из основных критерииев является компактность изделия, размещение таких отверстий на поверхности платы невозможно. Поэтому был выбран способ, при котором при первом вырезании платы остаётся припуск шириной 6 мм. Это позволяет разместить отверстия для позиционирования вне основной платы. В дальнейшем данный припуск будет срезан. Такое решение к тому же ещё и облегчает манипуляции с платой на следующих этапах. В ходе испытаний было определено, что оптимальным являются отверстия диаметром 2,4 мм. Они подходят для вкручивания шурупа типоразмера 2,5x10 мм. В деревянном рабочем столе станка предварительно делаются центрирующие отверстия диаметром 1 мм и глубиной 2 мм. Сами отверстия должны быть расположены симметрично относительно центра платы для того, чтобы заготовку можно было закрепить и лицевой, и обратной стороной вверх.

#### **1.7.5 Паяльная маска**

Важным элементом печатной платы является защитный слой – маска. Маски бывают разных видов, но объединяет их одно – участки, которые не нужно покрывать, следует закрыть, а остальные засветить ультрафиолетом. Мaska затвердеет, а на закрытых участках её можно будет смыть или стереть. В незатвердевшем виде она представляет собой пастообразную густую массу. Она играет роль защитного слоя при эксплуатации устройства, а также значительно упрощает процесс пайки компонентов при сборке устройства,

так как не даёт возможности случайно спаять или зацепить соседние дорожки и элементы.

Наносить на плату маску можно разными способами. Для определения оптимального способа нанесения и выбора типа была произведена серия экспериментов. В начале была использована маска, которая не требует предварительного отверждения в печи. Первый вариант нанесения – выдавливание небольшого количества пасты в середину платы. После этого плата придавливается стеклом, и маска растекается по поверхности. Однако в ходе экспериментов не удалось получить удовлетворительного результата. Мaska распределялась неравномерно, слой был слишком большим (порядка 80 мкм). Второй способ нанесения требует специального приспособления: сетки для шелкографической печати. Была изготовлена рамка для натяжения сетки (процесс и конструкция описаны в главе 4). Нанесение происходит следующим образом: плата придавливается сеткой, на сетку наносится небольшое количество маски. Паста распределяется при помощи резинового шпателя, затем плата отделяется от сетки. На плате наблюдается ровный слой маски. После этого на плату нужно положить кусочек прозрачной пленки и фотошаблон для засветки маски. Однако уложить пленку без образования пузырьков воздуха оказалось невозможным. Образовавшиеся проталины были сквозными – это недопустимо. Далее была использована другая маска, процесс нанесения которой состоит из трёх стадий: предварительное отверждение в печи при температуре 75° по Цельсию, засветка ультрафиолетом с фотошаблоном и окончательное отверждение в печи при температуре 155°. Нанесение происходит таким же способом при помощи сетки для шелкографии. Однако фотошаблон нужно размещать уже после предварительного отверждения, что позволяет избежать образования пузырьков воздуха. Удалось получить хороший результат, толщина слоя маски составила около 30 мкм, что более чем в 2 раза меньше, чем в первом эксперименте.

### **1.7.6 Фрезерование по контуру платы**

На этапе фрезерования возникли проблемы с вырезанием платы по контуру. Обработка производилась фрезой типа «кукуруза». При фрезеровании от платы отделялись участки нанесённой ранее маски. В ходе экспериментов было определено, что адгезия между маской и медным полигоном ниже, чем между маской и стеклотекстолитом. Проблема была решена следующим образом: до нанесения маски по контуру платы срезаются полоски меди шириной 1,2 мм при помощи плоского гравера. Так формируется текстолитовая рамка по внешнему контуру платы. Адгезия маски к текстолиту гораздо лучше, и покрытие уже не деформируется при фрезеровании контура платы.

### **1.8 Выбор электронных компонентов**

Дополнительного исследования потребовал и рынок электронных компонентов. Как было упомянуто ранее, хабы должны иметь протоколы Wifi, Ethernet и RS-485, а также I2C. В настоящее время широко распространены микроконтроллеры семейства AVR. Они имеют сравнительно простое устройство, не требует сложных схем питания и управления, дёшевы, компактны и имеют возможность программирования на языке Arduino. Поэтому они были выбраны для использования.

#### **1.8.1 Выбор микроконтроллеров**

Для связи по Wifi широко используются модули серии ESP компании AI-Thinker. Они позволяют легко и с минимальными затратами реализовать нужный для проекта функционал. В ассортименте представлены модули ESP32, ESP8265, ESP8266 и основанный на основе предыдущего ESP12. Первый модуль имеет большую производительность, Bluetooth и Wifi. Однако он избыточен для наших задач. Модуль ESP8265 мало распространён, а поэтому дорог. Оптимальным решением является модуль ESP8266. Он имеет достаточно памяти, компактен и относительно дёшев. К тому же он может выступать как самостоятельный контроллер. Но он неудобен для монтажа на

плату. Поэтому было принято использовать созданный на его основе модуль ESP12.

Для остальных устройств были выбраны контроллеры ATmega компании Atmel. Из широкого ассортимента были выбраны микроконтроллеры серий ATmega128 и ATmega328. Первый контроллер будет использоваться во всех устройствах, кроме платы с протоколом Ethernet, так как он требует большего объёма оперативной и постоянной памяти. Она будет изготовлена на основе второго контроллера. Оба решения обладают оптимальным соотношением цены, количества выводов, объёма постоянной и оперативной памяти, требований к питанию и управлению.

### **1.8.2 Связь по Ethernet**

Протокол Ethernet для работы требует отдельной микросхемы. В качестве таковой был выбран контроллер Enc28j60. Данное решение позволяет осуществлять проводную связь по протоколу Ethernet, управление осуществляется при помощи стандарта SPI, потребление в пике нагрузки не превышает 400 мА, она имеет компактные размеры. Также в сети интернет есть множество инструкций об управлении этой микросхемой.

### **1.8.3 Связь по RS-485**

Для связи по RS-485 чаще всего используется микросхема MAX-485. Она очень проста, компактна и имеет невысокую стоимость. В связи с этим для использования была выбрана данная микросхема.

## **1.9 Корпуса для устройств**

Следующим этапом исследования стал выбор форм-фактора корпусов устройств, способа их соединения и крепления. В условиях небольшой мастерской или школы есть немного способов изготовления корпусов, удовлетворяющих требованиям готового изделия. Одним из оптимальных является Зд печать. Из всех остальных способов она самая точная и эстетичная. Данная технология имеет свои особенности, которые будут рассмотрены далее.

### **1.9.1 Крепление на монтажную рейку**

Стандартом в мировой индустрии электрики является крепление устройств на рейку монтажную для установки (крепления) электрических аппаратов в низковольтных устройствах распределения и управления электросетями (электроцепями) (так называемая DIN-рейка). Они описаны в ГОСТ IEC 60715-2021. Такой способ крепления позволяет легко размещать любые модули без использования отвёрток или других инструментов, а также легко обслуживать и заменять оборудование. DIN 43880 описывает размеры корпусов устройств, согласно которому размеры должны быть следующими: высота основной части корпуса от рейки не должна превышать 44 мм, длина стандартного одноместного устройства должна быть равна 17.5 мм, однако устройство может занимать несколько мест, ширина стандартного не увеличенного корпуса должна составлять не более 90 мм. По вышеупомянутому стандарту изготовлено подавляющее большинство автоматических выключателей, устройств защитного отключения (УЗО), реле и других устройств для установки в электрические щиты.

После изготовления нескольких прототипов было также выдвинуто следующее требование: крепление на рейку должно быть съёмным, так как при установке устройства в обычную распределительную коробку оно занимает драгоценное место.

### **1.9.2 Анализ материалов для 3д печати**

Для изготовления корпусов методом послойного наплавления пластика (FDM 3д печать) требуется выбрать материал. Распространёнными являются пластики PLA, ABS, ASA, PETG, SBS. Был произведён сравнительный анализ по некоторым выдвинутым критериям:

1. прочность;
2. термостойкость;
3. эстетичность готовых изделий;
4. лёгкость печати;

## **5. стоимость.**

По каждому критерию каждый из вариантов получил оценку от 2 до 5 баллов (таблица 2).

Таблица 2 – сравнение материалов для 3д печати

Материал	Номер критерия					Итог
	1	2	3	4	5	
A. PLA	5	2	5	5	3	<b>20</b>
B. ABS	4	5	3	2	4	<b>18</b>
C. ASA	4	5	3	2	4	<b>18</b>
D. PETG	5	4	4	4	5	<b>22</b>
E. SBS	3	4	5	4	5	<b>21</b>

По результатам сравнения лидирует PETG пластик. Он и будет использован.

## **Глава 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ**

Первым этапом требуется разработать принципиальные схемы электронных устройств. На их основе будут спроектированы печатные платы. Далее требуется сделать 3д модели корпусов устройств. После этого следует разработать технологическую карту для дальнейшего изготовления продуктов.

### **2.1 Модули, которые будут созданы**

С учётом требований, выдвинутых в предыдущей главе, было принято решение разрабатывать следующие модули:

1. модуль беспроводной связи по Wifi;
2. модуль связи Ethernet;
3. модуль связи по протоколу RS-485;
4. исполнительный модуль с возможностью подключения датчиков, других модулей, с 5 установленными реле для управления силовой нагрузкой;
5. исполнительный модуль с возможностью подключения датчиков, других модулей, с 5 установленными симисторами для управления силовой нагрузкой;
6. исполнительный модуль с возможностью подключения датчиков, других модулей, с 5 установленными полевыми транзисторами для управления нагрузкой постоянного тока;

Также при проектировании нужно учитывать упомянутые в главе 1 требования российских и международных стандартов.

### **2.2 Прототипирование**

После проектирования 1 ревизии системы был изготовлен прототип, который помог выявить несколько недостатков:

1. выбранный способ соединения устройств не позволял расположить их компактно (при соединении устройств последовательно друг за другом они занимают много места в

горизонтальной плоскости, место сверху не используется). Из-за этого невозможно было подобрать монтажную коробку для монтажа в межкомнатную перегородку или стену;

2. питание плат осуществлялось при помощи модуля питания, сетевое напряжение для дальнейшей коммутации при помощи реле или симисторов передавалось через силовые разъёмы. Таким образом это позволяло один раз подвести 2 силовых провода и в дальнейшем подключать нагрузку к исполнительным модулям без лишних проводов. Такое решение казалось оптимальным. Однако это оказалось не так. Например, возникла потребность использовать реле для коммутации низковольтной нагрузки, но осуществить такое подключение невозможно. Также силовые дорожки платы не было возможности сделать слишком широкими, поэтому нагрузка была ограничена 10 А на все 5 реле, но выбранные реле могут коммутировать нагрузку до 5 А каждое;
3. из-за нехватки места на платах исполнительных модулей свободные контакты для подключения датчиков или других модулей выводились одной гребёнкой контактов с одним пином питания и пином земли. Из-за этого при подключении нескольких модулей требовалось дополнительно разветвлять питание.

Было принято решение пересмотреть способ соединения исполнительных модулей, хабов и модулей питания. Исполнительные модули также соединяются последовательно, но хабы и модули питания устанавливаются поверх исполнительных модулей, это позволяет вместить устройство в распределительную коробку размера 100x100x50 мм. Такие коробки очень распространены и имеют небольшую стоимость. С их помощью можно располагать элементы системы за пределами помещений или монтировать модули в стены или под потолком. Также теперь каждое реле, симистор или транзистор независимы и могут управлять любой

допустимой для них нагрузкой. Это решение позволяет освободить место на плате и разместить тройные контактные гребёнки (1 сигнальный пин и 2 пина питания) для подключения дополнительных модулей по трём проводам. Такой способ подключения очень распространён в простых готовых электронных модулях, например, реле, транзисторных модулях, сервоприводах, датчиках движения, газа, температуры и так далее.

Таким образом, прототипирование позволило устраниТЬ некоторые недостатки, связанные с конструктивными недоработками, а также улучшить характеристики готового продукта. Были изменены модели печатных плат и корпусов модулей. Принципиальные схемы остались почти без изменений.

### **2.3 Разработка принципиальных электрических схем**

Разработка принципиальных схем устройств производилась в программе EasyEDA. Она является бесплатной и позволяет создавать не только принципиальные схемы, но и печатные платы на их основе.

Принципиальные схемы модулей представлены в приложении А. При проектировании учитывались российские и международные стандарты для электронных и электрических схем.

### **2.4 Разработка моделей печатных плат**

На основе вышеупомянутых схем были созданы модели печатных плат. При их создании нужно учитывать несколько особенностей выбранных ранее технологий производства: минимальное расстояние между дорожками – 0.25 мм (это обусловлено диаметром гравера) [10], требуется создание дополнительных технологических отверстий для позиционирования при изготовлении, минимальный диаметр переходных отверстий (элементы, позволяющие соединить дорожки на разных слоях платы) должен составлять не менее 0.6 мм, нужно стараться использовать как можно больше отверстий одного диаметра, так как каждый размер требует установки соответствующего сверла, а данная операция занимает время (это не так критично при единичном производстве). При конструировании были учтены

общепринятые правила проектирования печатных плат: размещать силовые и сигнальные дорожки нужно как можно дальше друг от друга, части схемы, отвечающие за управление нагрузкой, должны быть отделены от основной электроники, длина дорожек должна быть минимально возможной, требуется использовать как можно меньше переходных отверстий. Чертежи печатных плат создавались с помощью программы Altium Designer и расширения Board Assistant. Чертежи печатных плат для всех модулей представлены в приложении Б.

## **2.5 Создание G-code**

Для производства на станке с ЧПУ требуется создание списка команд для станка (G-code). Для создания такого кода из схем печатных плат существует бесплатная программа FlatCAM (интерфейс программы изображён на рисунке 2). Программа позволяет учитывать все важные параметры: глубину гравировки, ширину режущего инструмента, обороты шпинделя станка, подачу, количество проходов инструмента. Также есть возможность автоматического создания траектории обрезки платы по контуру. Для создания двусторонних плат есть инструмент зеркального отображения геометрических объектов. После нескольких дней практики создание G-кода для одной платы занимает не более 5 минут.

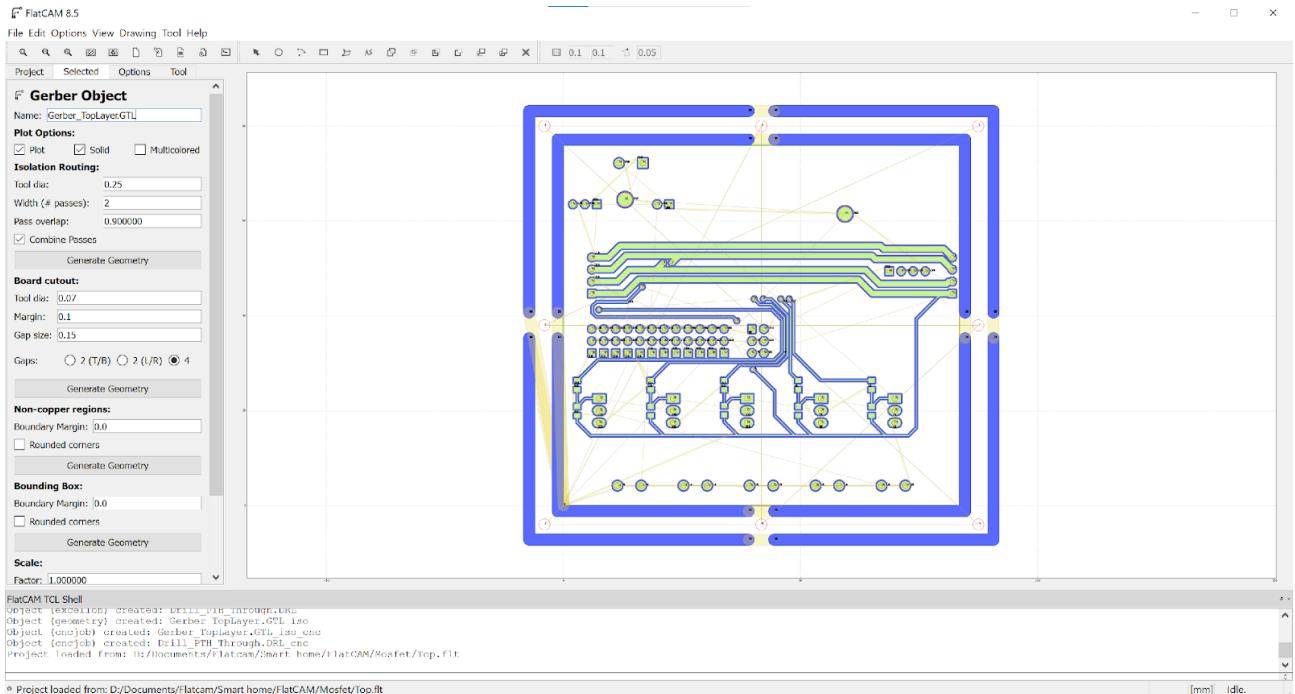


Рисунок 2 – Интерфейс программы FlatCAM

После проведения расчётов и экспериментов были выбраны следующие параметры обработки:

- гравировка:
  - тип инструмента: гравер конический 45° 0,1 мм / гравер прямой;
  - фактическая ширина реза: 0,25 мм / 1,2 мм;
  - подача 80 мм/мин;
  - глубина резания: 0.04 мм;
  - скорость вращения шпинделя: 24000 об/мин;
  - количество проходов: 2;
  - перекрытие проходов: 90%;
- сверление отверстий:
  - диаметр сверла: 0,6 – 1,4 мм;
  - подача: 30 мм/мин;
  - глубина сверления: 2,5 мм;
  - скорость вращения шпинделя: 24000 об/мин;
- фрезерование по внешнему контуру:

- о тип инструмента: фреза цилиндрическая «кукуруза»;
- о диаметр инструмента: 2,4 мм;
- о подача: 200 мм/мин;
- о скорость вращения шпинделя: 18000 об/мин;
- о глубина обработки за 1 проход: 0,2 мм;
- о полная глубина обработки: 2,5 мм.

## **2.6 Корпуса устройств**

Для создания трёхмерных моделей корпусов устройств использовалась программа Autodesk Fusion 360 (Студенческая лицензия). Чертежи корпусов создавались в программе Компас-3D. При проектировании учитывались требования, выдвинутые в 1 главе. Также были приняты во внимание особенности 3д печати. Некоторые недостатки метода послойного наплавления даже были превращены в преимущества. Так, нижняя и верхняя части корпуса держатся вместе за счёт слоистости изделий (при плотной посадке деталей слои одной входят в зацепление с слоями другой). Такое решение упростило проектирование и печать, так как не пришлось создавать специальные клипсы, защёлки или иные приспособления для соединения.

### **2.6.1 Соединение устройств друг с другом**

Для соединения модулей между собой были разработаны крепления на основе винтов М3, которые монтируются в корпуса устройств на этапе сборки. Это позволяет освободить пользователя от поиска метизов и места хранения для них. Такое решение проверено временем и позволяет быстро и просто устанавливать изделия.

### **2.6.2 Варианты установки модулей**

Габаритные размеры модуля позволяют устанавливать его в монтажную коробку типоразмера 100x100x50 мм. Такие коробки очень распространены и повсеместно используются. Такое решение позволяет монтировать устройства на улице. Также модули можно помещать в разветвительные

коробки размера 100x100x50 мм или 120x92x70 мм. Это позволяет установить устройства, например, в межкомнатных перегородках.

### 2.6.3 Крепление на монтажную рейку

Корпуса имеют 4 крепежных отверстия для крепления к какой-либо поверхности. Также есть возможность установки на монтажную DIN-рейку. Это позволяет закреплять исполнительные модули в электрощиты. Один модуль по габаритным размерам соответствует 5 стандартным одинарным модулям электрического оборудования, крепящегося на рейку (например, автоматические выключатели или устройства защитного отключения (УЗО)). Для монтажа на рейку были разработаны специальные защёлкивающиеся крепления. На одно исполнительное устройство можно закрепить 2 таких крепления. Они позволяют надёжно и просто устанавливать, а также демонтировать устройства без использования специальных инструментов. Схожее решение используется на модулях для установки на монтажную рейку нескольких мировых производителей. Крепления устанавливаются на исполнительный модуль при помощи двух винтов М3. Это позволяет их снимать и таким образом увеличивать компактность модуля. Изображение закреплённого на рейке модуля можно увидеть на рисунке 3.

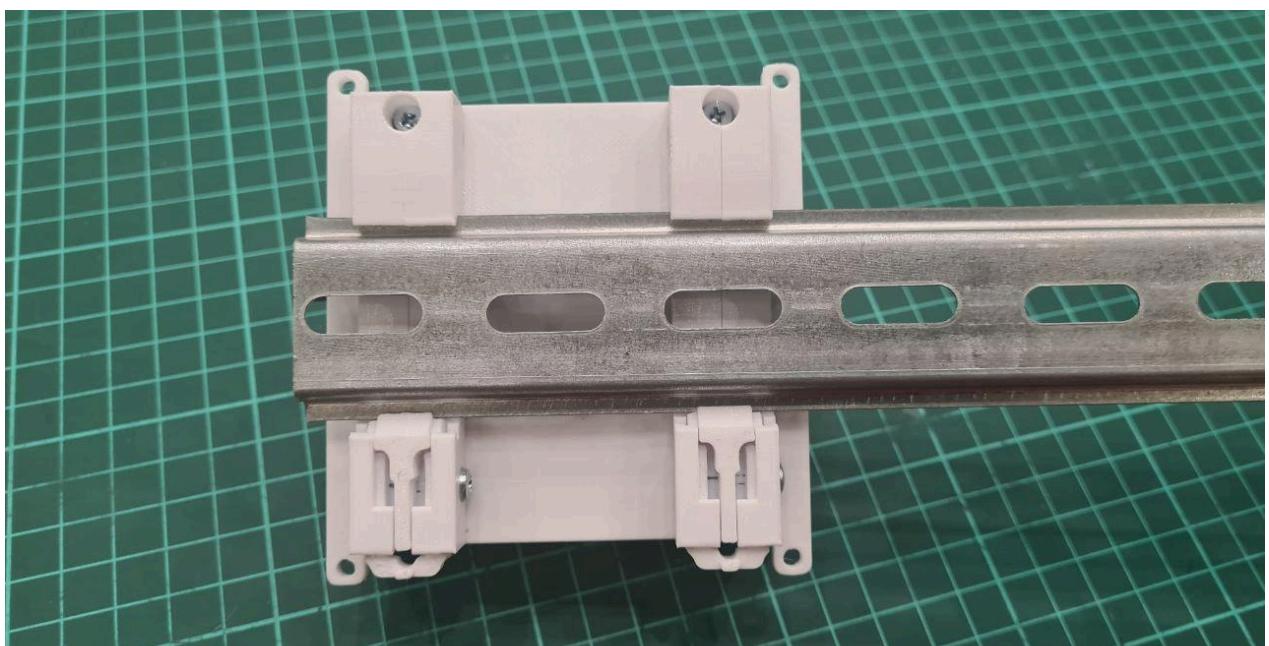


Рисунок 3 – Модуль, закреплённый на монтажной рейке

Чертежи моделей корпусов устройств представлены в приложении В.

На этапе конструирования, к сожалению, невозможно учесть всех нюансов, которые могут возникнуть в процессе изготовления. О них, а также о созданных приспособлениях и специальных инструментах будет сказано в главе 4.

## **Глава 3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Ещё одной задачей проекта стала разработка ПО для всего оборудования. А именно для сервера, хабов и исполнительных устройств.

### **3.1 Основные средства создания и структура системы**

Сервер работает на операционной системе Raspbian OS, которая основана на Linux Debian. В качестве веб-сервера было принято решение использовать связку Nginx – Python Flask. Такое решение оптимально и позволяет реализовать все требуемые функции. Код программ написан на языке Python 3. Используется система управления базами данных (СУБД) MySQL. Вёрстка веб-страниц осуществлена с использованием языков HTML, CSS, JavaScript. Управление всей системой пользователь осуществляется через веб-сайт, который можно открыть как на компьютере, так и на мобильных устройствах. Вся настройка производится таким же образом. Взаимодействие хабов и сервера происходит посредством Ethernet и Wifi соединения. Связь с RS-485 хабами осуществляется при помощи USB – RS-485 преобразователя.

### **3.2 Программирование микроконтроллеров**

Для задания алгоритмов работы устройствам на базе микроконтроллеров AVR используется язык программирования Arduino. При помощи различных библиотек осуществляется поддержка различных дополнительных модулей и датчиков. Например, для управления микросхемой Enc28j60 (используется в Ethernet хабе) используется библиотека EtherCard, а для работы цифрового датчика температуры DS18B20 нужны библиотеки OneWire и DallasTemperature.

### **3.3 Протокол связи**

Для связи хабов и исполнительных устройств был разработан «язык общения» (протокол). Он имеет следующую структуру: в начале сообщения идёт символ «<», затем адрес устройства, после символ разделения «|», далее можно расположить несколько числовых или текстовых параметров, разделённых символом «|», заканчивается сообщение знаком «>». Например,

«<1|2|255|1>». Такой формат позволяет стандартизировать общение устройств и в дальнейшем легко добавлять новые виды девайсов.

### **3.4 Программные возможности системы**

На основе всех требований, выдвинутых ранее были реализованы следующие функции системы:

- четыре вида отображаемых в интерфейсе девайсов: датчик, переключатель включить/выключить, слайдер для плавного управления, кнопка для единоразового действия;
- разделение устройств по этажам и комнатам;
- отображение состояния устройства (находится ли оно в сети);
- поддержка простых цифровых модулей, работающих по схеме включено/выключено (реле, транзисторы, датчики движения, шума, вибрации, герконы, коллекторные моторы, линейные актуаторы и другое);
- поддержка аналоговых датчиков;
- поддержка цифровых датчиков температуры серии DHT и DS18B20;
- поддержка сервоприводов;
- поддержка устройств, управляемых при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ), например, светодиодные ленты (плавное изменение яркости), коллекторные моторы (управление скоростью вращения);
- настройка часовых поясов для работы по расписанию;
- интуитивное и простое добавление новых устройств;
- сценарии работы с учётом информации с датчиков и любых других устройств, входящих в систему;
- настройка состояния каждого устройства по умолчанию для работы после отключения электроэнергии или в других непредвиденных ситуациях.

### **3.5 Перспектива**

Выбранные электронные компоненты позволяют без внесения физических изменений добавлять поддержку множества полезных функций. В будущем доработкой программного обеспечения можно будет добавить поддержку систем контроля доступа, режимы охраны, сигнализации, специфические сценарии работы.

Таким образом, были реализованы найденные в сети интернет функции систем «умный дом» как из нижнего, так и из верхнего ценовых сегментов.

## **Глава 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ**

Для изготовления одного электронного устройства требуется выполнить следующую последовательность операций (подробные технологические карты представлены в приложении Г): изготовить печатную плату, выполнить пайку электронных компонентов, загрузить прошивку в контроллер, изготовить корпус, выполнить сборку. В этой главе будут рассмотрены особенности и сложности, возникающие на каждом из этапов.

### **4.1 Оборудование и специальные приспособления**

#### **4.1.1 Фрезерный станок с ЧПУ**

Изготовление печатной платы происходит при помощи фрезерного станка с ЧПУ. Можно использовать даже самый простой гравер, но работать гораздо проще, быстрее и эффективнее на более дорогостоящем и мощном оборудовании. Данный проект выполнялся на самостоятельно изготовленном трёхосевом фрезерном станке с ЧПУ (см. рисунок 4). Коротко о нём: основа – рама из стальных профильных труб, используются цилиндрические направляющие типа SBR, шпиндель 24000 об/мин 2,2 кВт, рабочее поле обработки 270x450x170 мм, управление – LPT плата опторазвязки и программа Mach3. Также станок обладает функцией Z-щупа (определения высоты заготовки), что является обязательным. Стол станка – алюминиевый с Т-образными пазами. Для качественной обработки плат требуется сверлить и фрезеровать заготовку насквозь, поэтому на станок устанавливается жертвенный стол из фанеры толщиной 8 мм. После установки плоскость жертвенного стола была обработана при помощи торцевой фрезы диаметром 50 мм. Заготовки крепятся к столу при помощи небольших саморезов 2.5x10 мм (рисунок 5).



Рисунок 4 – Фрезерный станок с ЧПУ

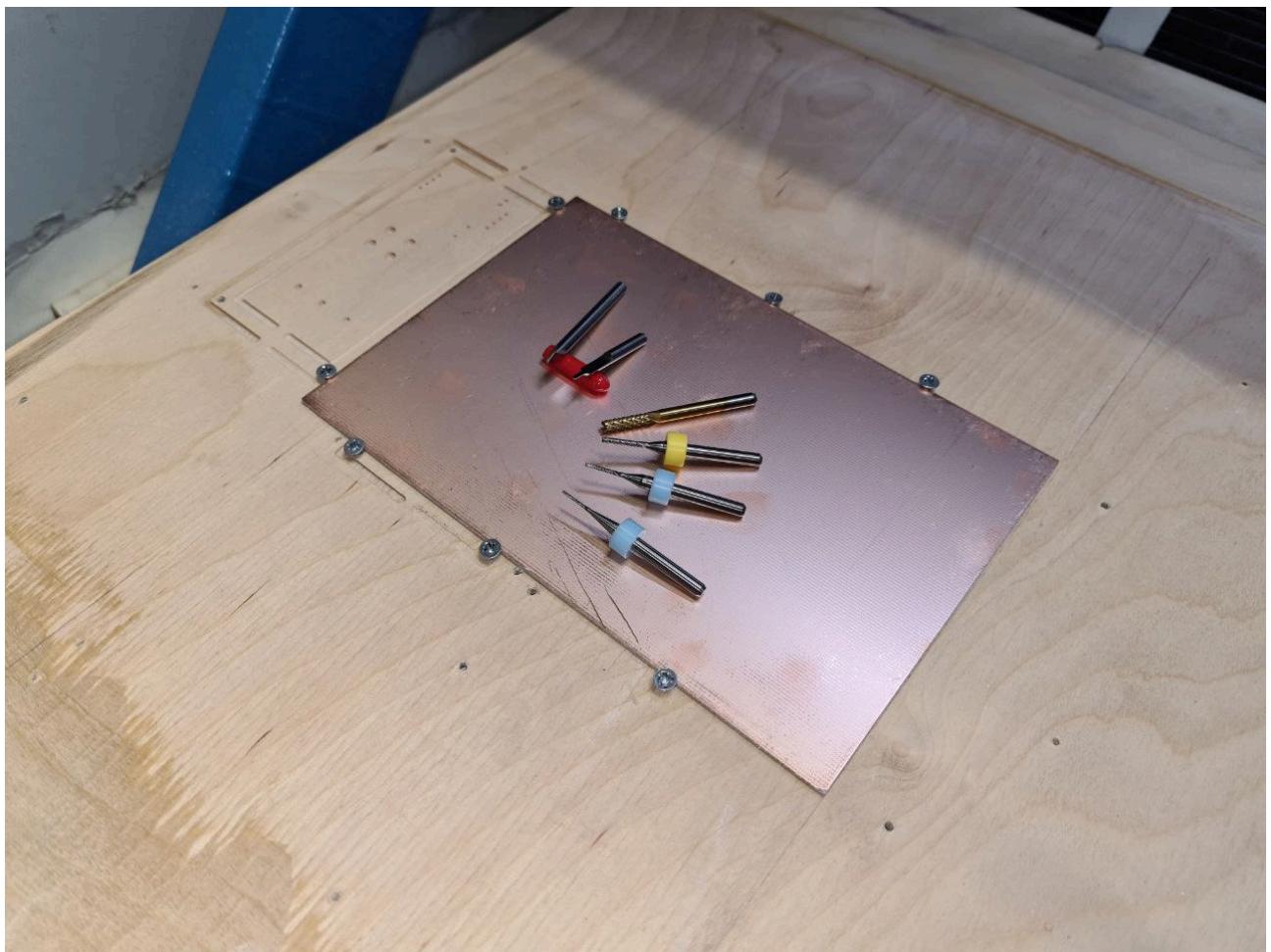


Рисунок 5 – Крепление заготовки к столу и используемая оснастка

#### 4.1.2 Приспособление для нанесения паяльной маски

Для нанесения маски используется приспособление, представляющее собой рамку из 4 деревянных брусков, внутри которой натянута сетка для шелкографической печати. Она закреплена по периметру скобами при помощи скобозабивного пистолета. Рамка крепится 2 мебельными петлями к фанерной основе, на которую устанавливается печатная плата (см. рисунок 6). Чертежи представлены в приложении В.

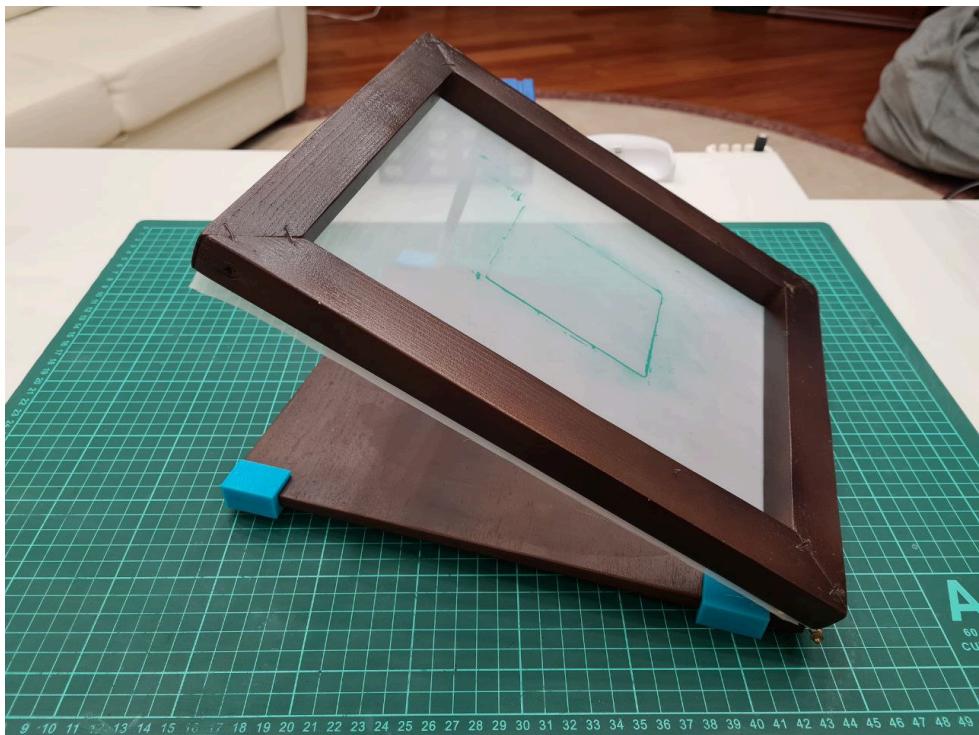


Рисунок 6 – Приспособление для нанесения паяльной маски

#### 4.1.3 Печь для отверждения маски

Для предварительного отверждения паяльной маски требуется поддерживать температуру 75 градусов по Цельсию в течение 15 минут. Для этого была выбрана недорогостоящая электрическая печь. Нагрев осуществляется при помощи 2 нагревательных элементов суммарной мощностью 900 Вт. Печь имеет простой температурный контроль. В ходе экспериментов было выяснено, что температура заготовки в печи колеблется в пределах 20 градусов и не стабилизируется. Было принято решение изготовить свою систему температурного контроля. Было проведено

несколько экспериментов с разными температурными датчиками. Был выбран бесконтактный инфракрасный датчик, так как он позволяет определять фактическую температуру заготовки. Различные термисторы слишком инертны и показывают данные с большим запозданием. Из-за этого заготовка успевала перегреться на несколько десятков градусов, что также недопустимо. Для управления системой был выбран контроллер Arduino mini. Управление нагревателями осуществляется при помощи симистора. Система представляет собой ПИД-регулятор. Такой алгоритм работы позволяет максимально быстро достичь указанной температуры и стабильно поддерживать её. В ходе экспериментов было определено, что данный контроллер позволяет стабилизировать температуру в пределах 0,5 градуса. Конструирование системы заняло несколько дней, однако полностью себя оправдало. Предварительное отверждение маски происходит автоматически без участия человека. Принципиальная схема устройства, а также библиотека ПИД-регулятора были взяты на сайте <https://alexgyver.ru> [17].

## 4.2 Последовательность операций

При изготовлении платы соблюдается следующая последовательность операций:

- 1) крепление заготовки;
- 2) сканирование поверхности заготовки;
- 3) гравировка дорожек коническим гравером;
- 4) гравировка окантовки плоским гравером;
- 5) сверление технологических отверстий;
- 6) первое черновое фрезерование по контуру с припуском;
- 7) снятие заготовки со стола;
- 8) шлифовка поверхности заготовки, снятие заусенцев;
- 9) сверление в столе направляющих отверстий для саморезов;
- 10) крепление заготовки обратной стороной через ранее сделанные технологические отверстия к столу;

- 11) сканирование поверхности заготовки;
- 12) гравировка дорожек коническим гравером;
- 13) гравировка окантовки плоским гравером;
- 14) снятие заготовки;
- 15) шлифовка поверхности, снятие заусенцев;
- 16) нанесение маски:
  1. приготовление маски (смешивание 2 компонентов);
  2. закрепление заготовки в приспособлении (описано выше);
  3. нанесение маски на обе стороны платы;
  4. предварительное отверждение маски в печи;
  5. засветка маски ультрафиолетом с применением фотошаблона;
  6. промывка платы в растворе кальцинированной соды;
  7. окончательное отверждение в печи;
- 17) крепление заготовки к станку лицевой стороной вверх;
- 18) сверление отверстий;
- 19) финишное фрезерование по контуру;
- 20) снятие заготовки;
- 21) обработка в растворе жидкого олова;
- 22) контроль качества.

### **4.3 Пайка и прошивка контроллеров**

На следующем этапе производится пайка переходных отверстий и остальных компонентов при помощи паяльника и паяльного фена. Используется флюс ЛТИ-120, припой ПОС-61, паяльная паста для пайки SMD-компонентов.

Прошивка контроллеров происходит с помощью USBASP программатора по интерфейсу SPI. Используется среда разработки Arduino IDE.

#### **4.4 Изготовление корпусов**

Изготовление корпуса устройства производится на 3д принтере Anycubic 4MAX. Печать осуществляется белым PETG пластиком. Используется малое количество поддержек. Диаметр сопла – 0,3 мм, толщина слоя 0,2-0,3 мм.

Окончательная сборка представляет собой установку платы в корпус, соединение элементов корпуса, размещение надписей и декоративных элементов.

Более подробное описание процесса изложено в технологической карте, расположенной в приложении Г.

## Глава 5. ОЦЕНКА ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЫ

В ходе испытаний готовой системы было выяснено, что установка и настройка не требует особых навыков. Использование интуитивно понятно, задержек в работе устройств нет. Система работает полностью исправно и действительно помогает автоматизировать рутинные процессы и тем самым высвободить время пользователя. Изображение нескольких модулей представлено на рисунке 7.

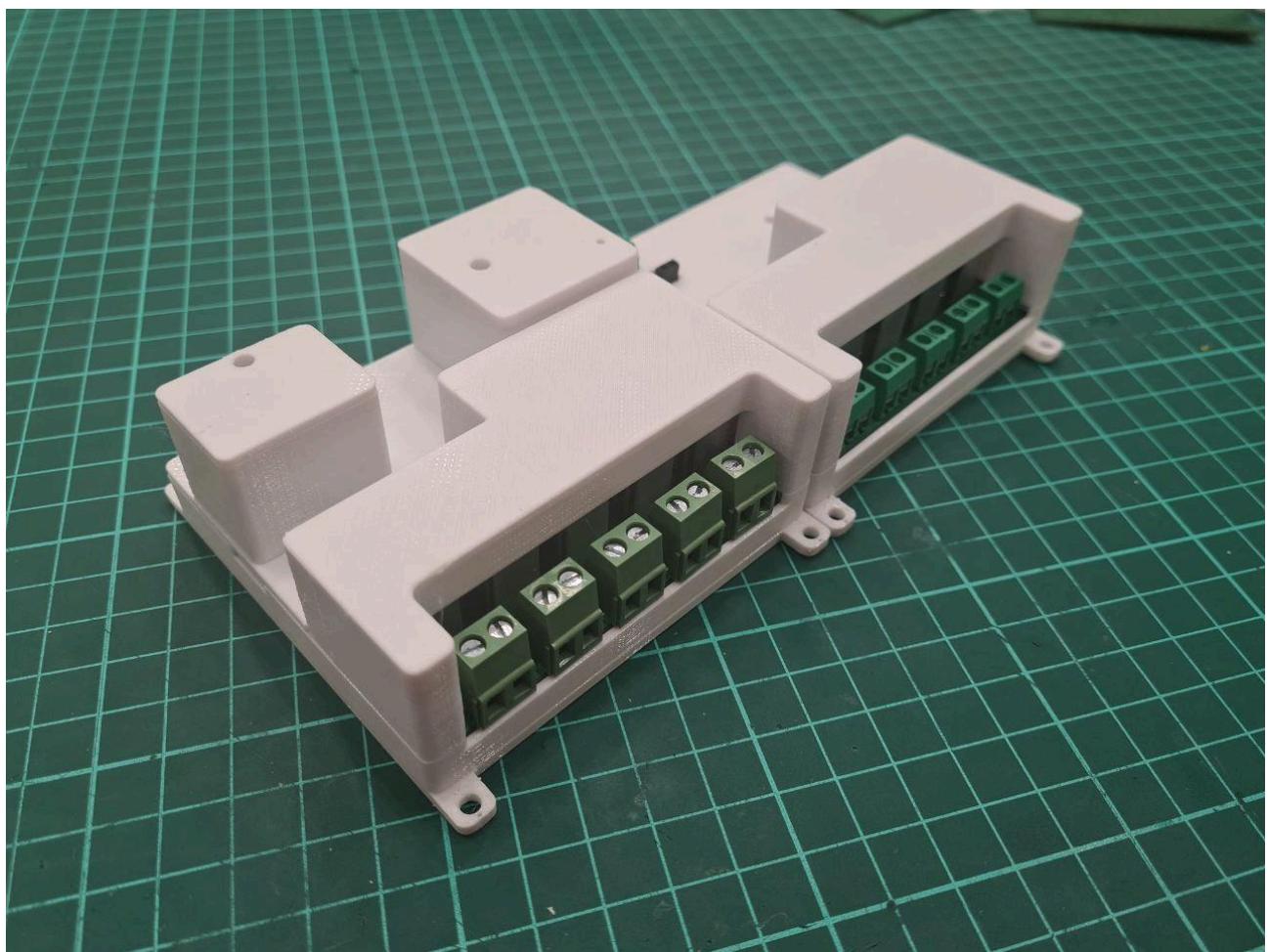


Рисунок 7 – Изображение готовых Wifi хаба, модуля питания, исполнительного устройства с симисторами (слева) и исполнительного устройства с транзисторами (справа)

### 5.1 Оценка технологии изготовления

Выбранная технология изготовления печатных плат полностью себя оправдала. В мастерской теперь есть все возможности для дальнейшего применения этой технологии в будущих проектах.

## 5.2 Оценка пользовательского интерфейса

Созданная система управления и настройки также оправдала ожидания и удобна в использовании. Разработанный дизайн панели управления позволяет быстро выполнять все задачи. На рисунке 8 можно увидеть изображение пользовательского интерфейса системы.

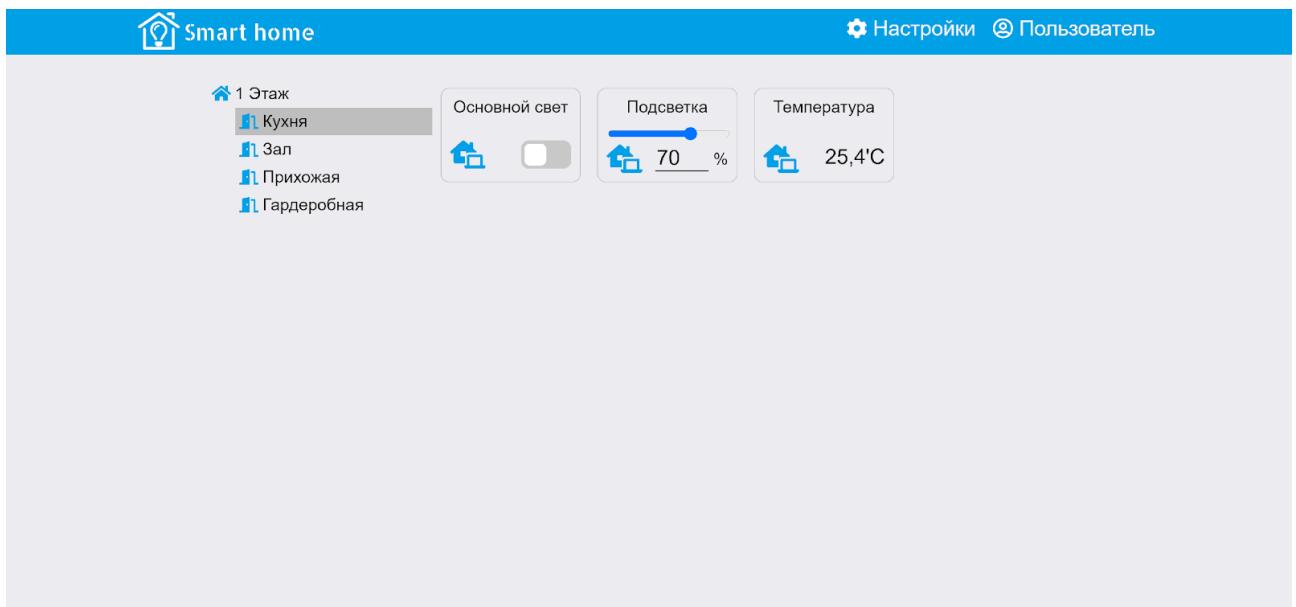


Рисунок 8 – Интерфейс панели управления системой

## 5.3 Экономическая оценка

Немаловажна экономическая оценка проекта (см. таблицу 3).

Таблица 3 – расчёт стоимости каждого из модулей системы

Устройство	Стоимость печатной платы (руб.)	Стоимость электронных компонентов (руб.)	Стоимость корпуса (руб.)	Прочие расходы (руб.)	Итоговая стоимость (руб.)
Wifi хаб	35	168	22	12	237
Ethernet хаб	50	298	42	17	407
RS-485 хаб	35	193	23	13	264
Исполнительный модуль с реле	75	381	73	34	563
Исполнительный модуль с симисторами	75	467	73	34	649
Исполнительный модуль с транзисторами	75	423	73	34	605
Модуль питания	76		11	9	96

Стоимость минимально возможного для работы комплекта (сервер, Wifi хаб, модуль питания и исполнительный модуль с реле) составляет около 5000 рублей. Основную стоимость образует сервер (около 4000 рублей). А комплект для подключения 5 силовых устройств и 12 различных модулей стоит около 1000 рублей. Самым близким по функционалу аналогом, который есть в свободной продаже, является WiFi-реле на 4 канала стоимостью 1660 рублей. Однако оно не имеет возможности подключения каких-либо датчиков или дополнительных модулей. Для этого нужно докупить несколько других устройств. Главным преимуществом разработанной в ходе проектирования системы является модульность. А значит, чем больше в системе элементов, тем меньше она будет стоить по сравнению с другими решениями.

#### **5.4 Экологическая оценка**

При работе система не выделяет вредных веществ и безопасна для пользователя. Использованные материалы также отвечают требованиям экологической безопасности. Утилизация устройств не отличается от утилизации любой другой потребительской электроники.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Поставленная цель разработать и изготовить систему «умный дом», используя технологию изготовления печатных плат способом гравировки была выполнена. Технология применима и практически значима. В процессе освоения был получен бесценный опыт. Поставленные в начале проектной деятельности задачи были полностью выполнены.

Учитывая то, что системы «умный дом» набирают популярность, есть уверенность, что данная система будет востребована. Также всё больше и больше людей интересуются изготовлением различного рода устройств у себя дома. Хочется верить, что опыт данного проекта может помочь кому-либо в освоении технологий, применённых в этом проекте.

В ходе проектирования было получено огромное количество информации о технологиях изготовления тех или иных изделий, об использованных материалах, инструментах и оборудовании. Была освоена крайне полезная в век электронных устройств технология создания печатных плат.

Возможный вариант рекламы разработанной системы: «Думайте о важном, комфорт обеспечит система «умный дом». Он точно знает, какой климат Вам нужен, сам включит свет, откроет шторы утром и выключит утюг, когда Вы уйдете. Сочетание всего необходимого функционала, доступной цены, надежности и простоты монтажа на любой стадии готовности помещения!»

Система обладает большим потенциалом в области расширения функционала и создания новых модулей. Так, например, в будущем можно добавить поддержку различных систем контроля доступа, создать возможность более простой установки модулей, например, вместо уже существующих розеток и выключателей. Те решения, которые воплощались на всём протяжении проекта позволяют выполнять доработки без внесения существенных изменений в уже существующую систему.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **Книги:**

1. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства / Д. Блум; пер. В. Петин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 336 с.
2. Гринберг, М. Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python / М. Гринберг; пер. А. Н. Киселёв. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 272 с.
3. Дакетт, Д. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов / Д. Дакетт; пер. В. М. А. Райтман. – М.: Эксмо, 2020. – 480 с.
4. Дакетт, Д. Javascript и jQuery. Интерактивная веб-разработка / Д. Дакетт; пер. М. А. Райтман. – М.: Эксмо, 2017. – 640 с.
5. Доусон, М. Программируем на Python / М. Доусон; пер. В. Порицкий. – СПб.: Питер, 2016. – 416 с.
6. Платт, Ч. Электроника для начинающих / Ч. Платт; пер. М. А. Райтман. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 416 с.
7. Платт, Ч. Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих / Ч. Платт; пер. С. Таранушенко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 448 с.

### **Ссылки на источники сети Интернет:**

8. База знаний Амперки // Amperka Wiki – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://wiki.amperka.ru/> (дата обращения: 15.01.2022).
9. Гравировка печатных плат на ЧПУ фрезерном станке. Часть вторая. Коррекция кривизны текстолита // Easy Electronics – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<http://easyelectronics.ru/gravirovka-pechatnyx-plat-na-chpu-frezernom-stanke-chast-vtoraya-instrumentalnaya.html> (дата обращения: 12.01.2022).

- 10.Гравировка печатных плат на ЧПУ фрезерном станке. Часть первая.  
FlatCam // Easy Electronics – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<http://easyelectronics.ru/gravirovka-pechatnyx-plat-na-chpu-frezernom-stanke-chast-pervaya-flatcam.html> (дата обращения: 12.01.2022).
- 11.Документация программы FlatCAM // FlatCAM Docs –  
[Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<http://flatcam.org/manual/index.html> (дата обращения: 12.01.2022).
- 12.Домашняя автоматизация // Wikipedia – [Электронный ресурс] –  
Режим доступа:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Домашняя\\_автоматизация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Домашняя_автоматизация) (дата обращения: 30.01.2022).
- 13.Обслуживание приложений Flask с uWSGI и Nginx в Ubuntu 18.04 //  
DigitalOcean – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-serve-flask-applications-with-uwsgi-and-nginx-on-ubuntu-18-04-ru> (дата обращения: 17.01.2022).
- 14.Печатная плата с паяльной маской и шелкографией, от А до Я в  
домашних условиях // YouTube – [Электронный ресурс] – Режим  
доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=k9Zf0L1PH4Y> (дата  
обращения: 13.01.2022).
- 15.Расчет ширины дорожки печатной платы в зависимости от силы тока  
// RadioProg – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://radioprog.ru/calculator/1> (дата обращения: 11.01.2022).
16. Умный дом — что это такое и кто его придумал // Sneg5 –  
[Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://sneg5.com/nauka/tehnika-i-tehnologii/umnyj-dom.html> (дата  
обращения: 30.01.2022).

17. Уроки Arduino и робототехники // AlexGyver Technologies –  
[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/lessons/>  
(дата обращения: 15.01.2022).
18. Фрезеровка печатных плат в домашних условиях // Habr –  
[Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://habr.com/ru/company/vk/blog/402047/> (дата обращения:  
12.01.2022).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

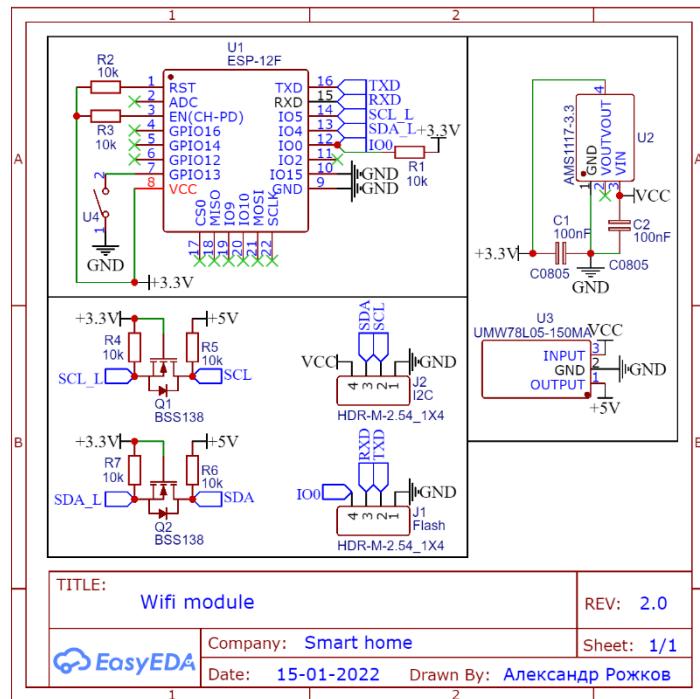


Рисунок А.1 – Принципиальная схема Wifi хаба

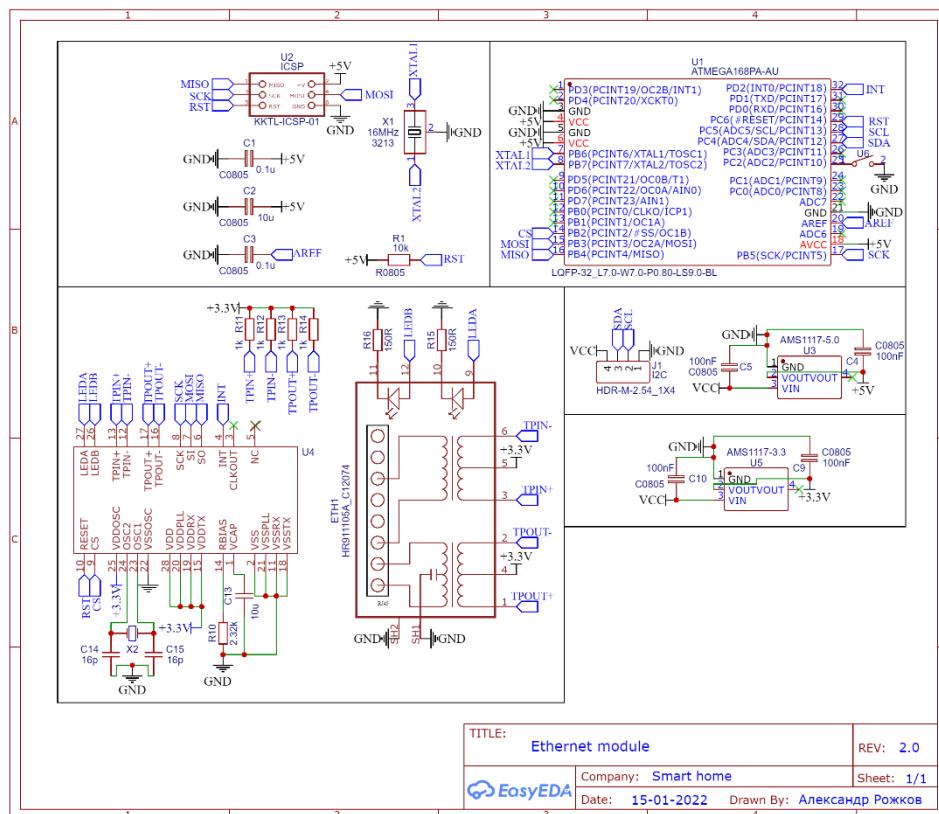


Рисунок А.2 – Принципиальная схема Ethernet хаба

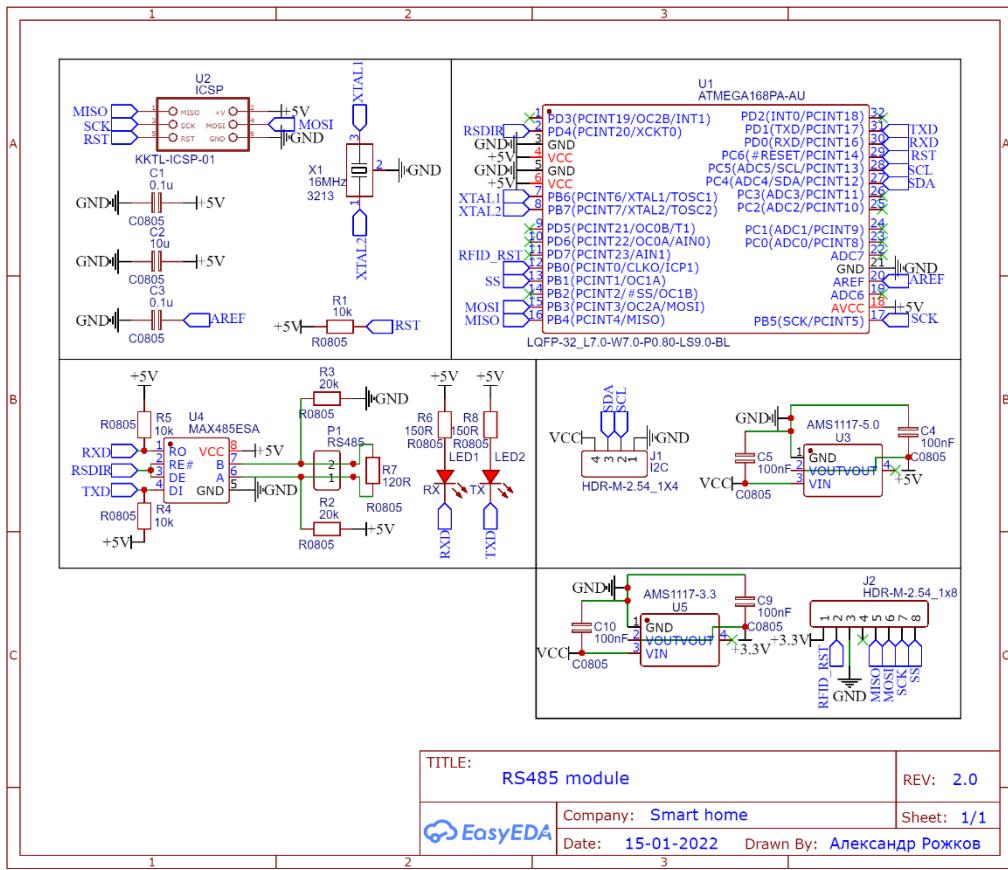


Рисунок А.3 – Принципиальная схема RS-485 хаба

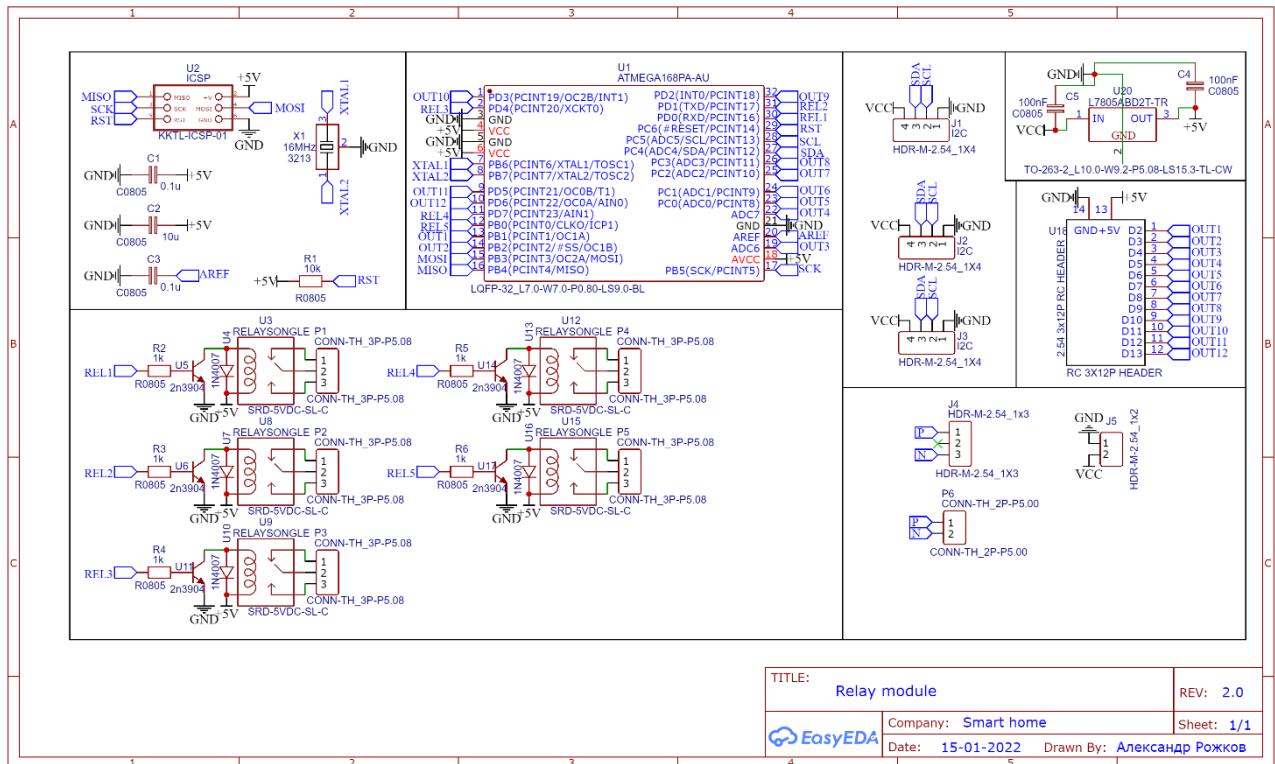


Рисунок А.4 – Принципиальная схема исполнительного модуля с реле

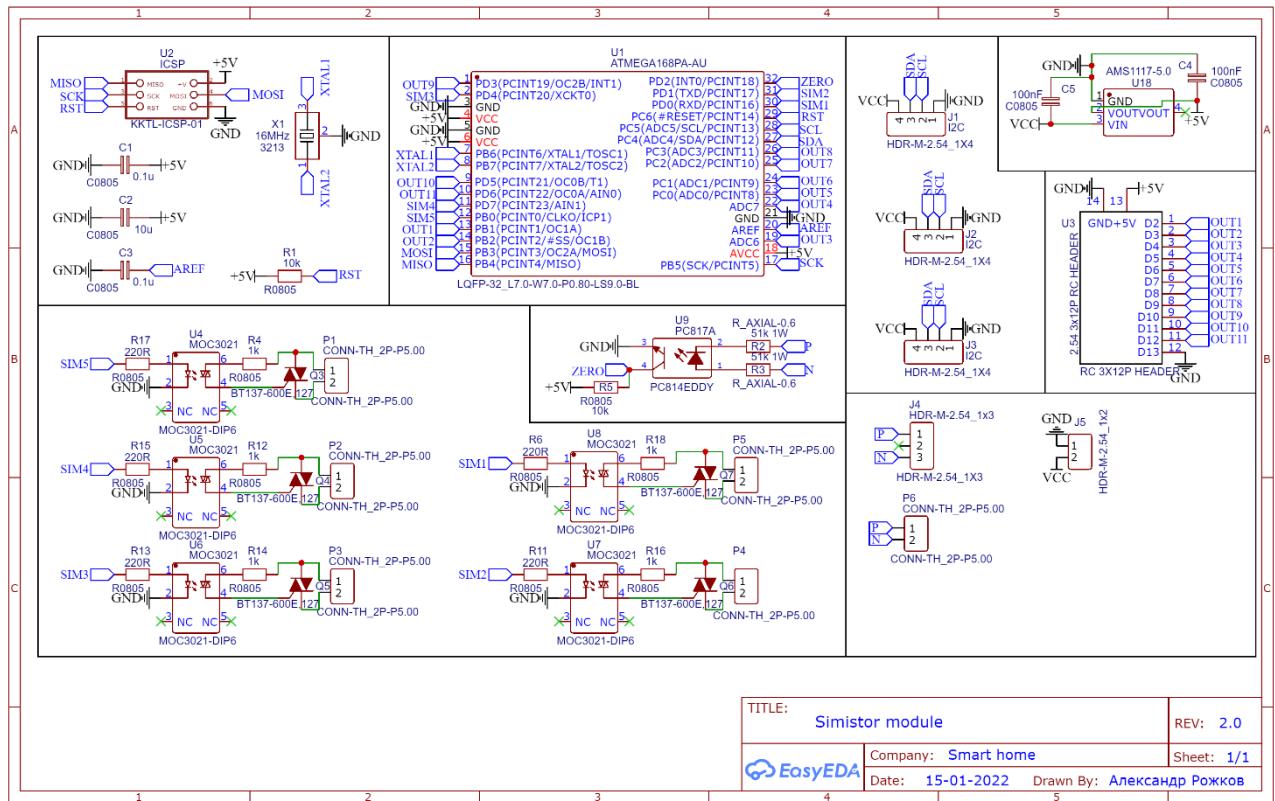


Рисунок А.5 – Принципиальная схема исполнительного модуля с симисторами

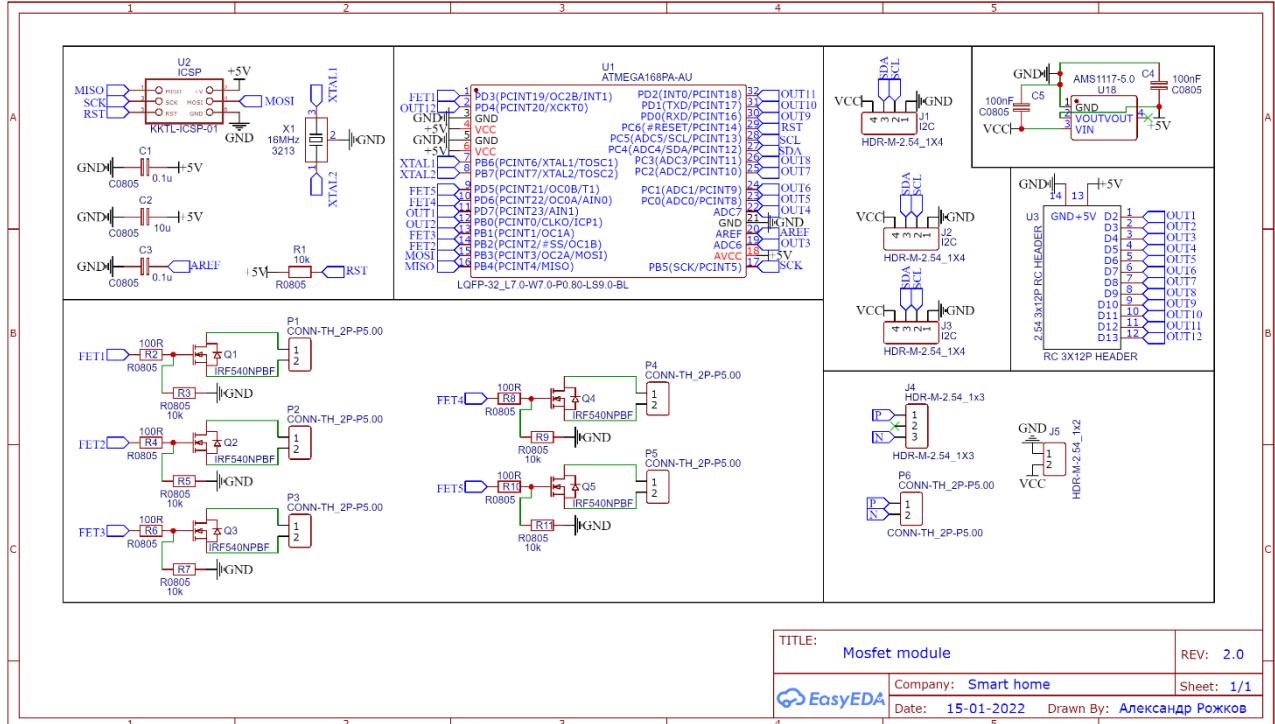
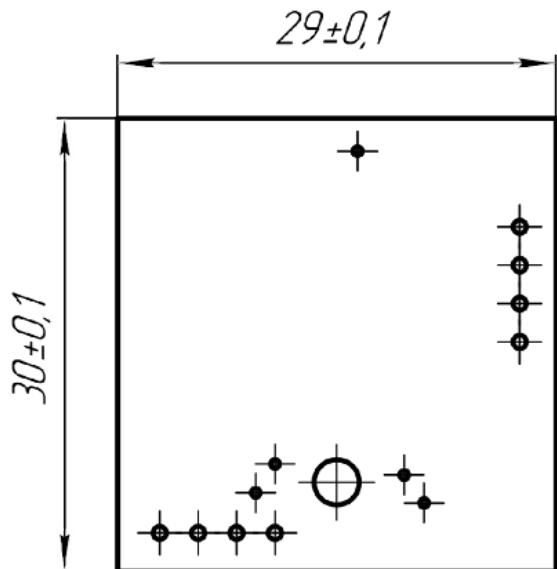


Рисунок А.6 – Принципиальная схема исполнительного модуля с  
транзисторами

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

QDX 14/1

 $\checkmark Rz 160$  (✓)

Б(2)

А(2)

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № и дата

Инд. № подп.

Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие metallизации	Кол. отв.
•	0,6	1,0	Да	5
•	0,89	1,6	Да	8
○	3	3,2	Да	1

Wifi ход

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рожков А. В.			
Проф.	Есин В. А.			
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

Лист	Масса	Масштаб
	2,5 г	2:1

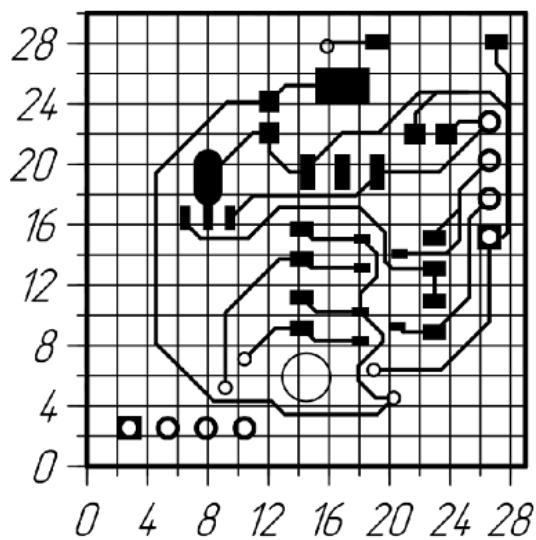
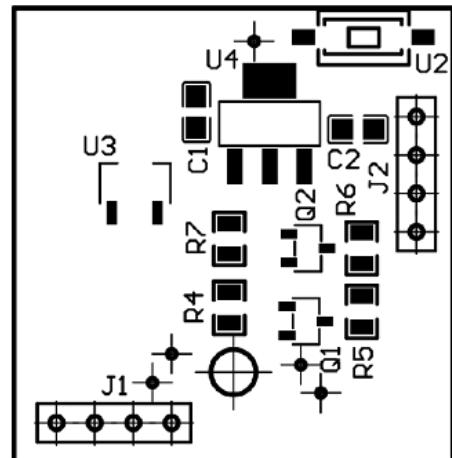
Чертёж

52

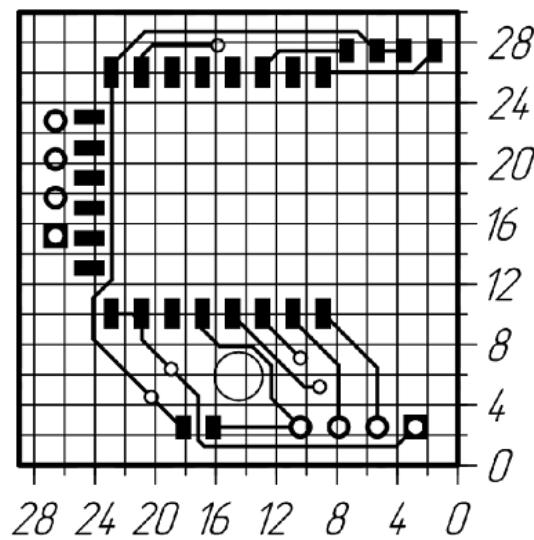
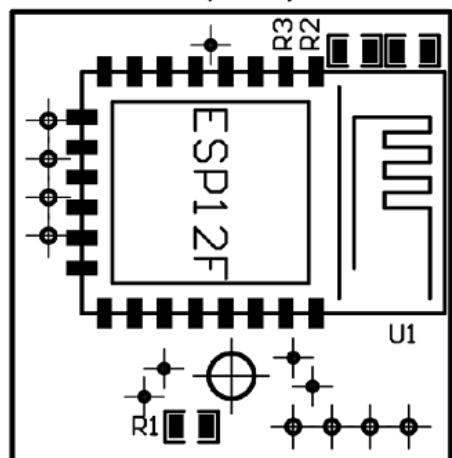
Фольгированный стеклопластик

МАОУ гимназия 23

A(1)

A(1)  
Слой маркировки

Б(1)

Б(1)  
Слой маркировки

Инд. № подп.	Подп. и дата	Взам. инд. №	Инд. № публ.	Подп. и дата

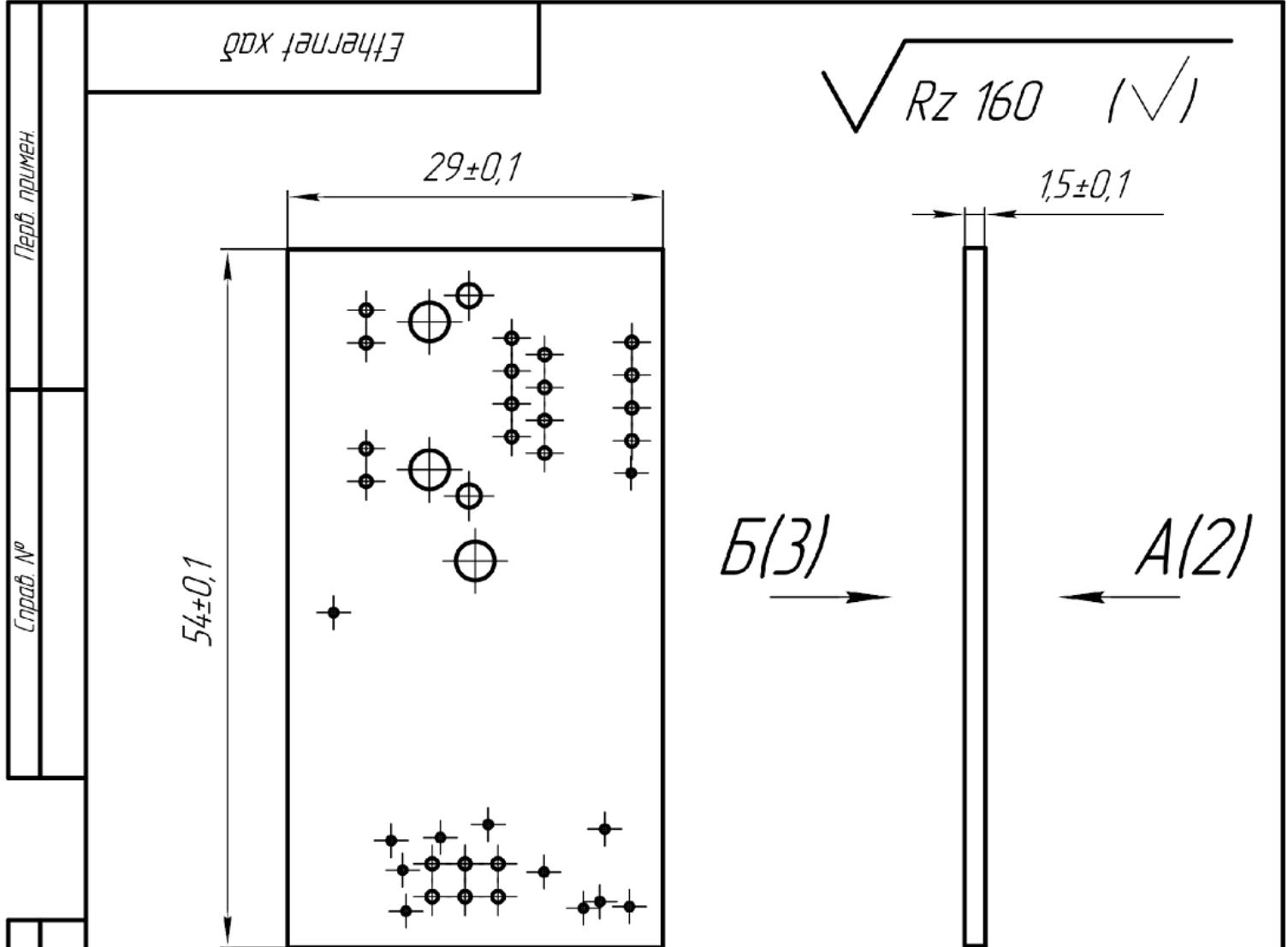


Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие metallизации	Кол. отв.
+	0,6	1,0	Да	12
•	0,89	1,6	Да	22
○	1,8	2,5	Да	2
○	3	3,2	Да	3

Инд. № подп.	Подп. и дата				Ethernet ход		
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса
Разраб.	Рожков А. В.					5 г	2:1
Пров.	Есин В. А.						
Т.контр.							
Иконтр.							
Утв.							

Чертёж

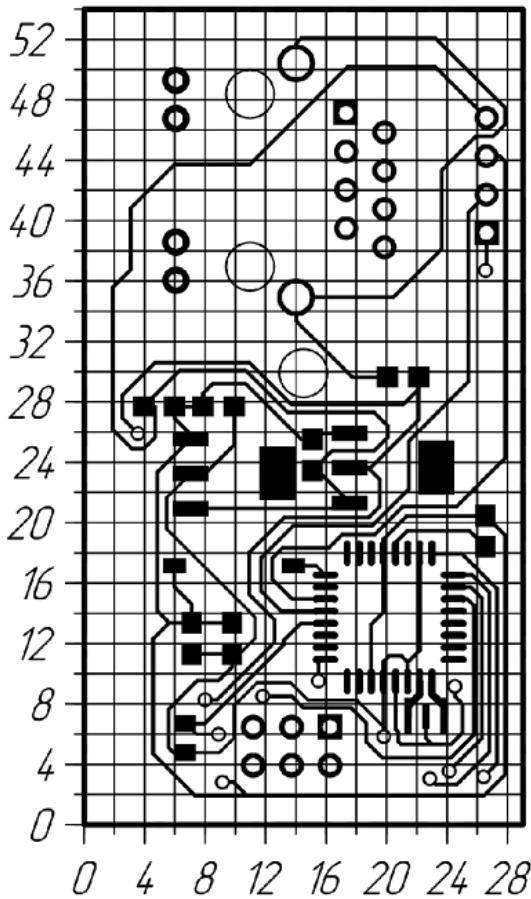
54

Фольгированный стеклотекстолит

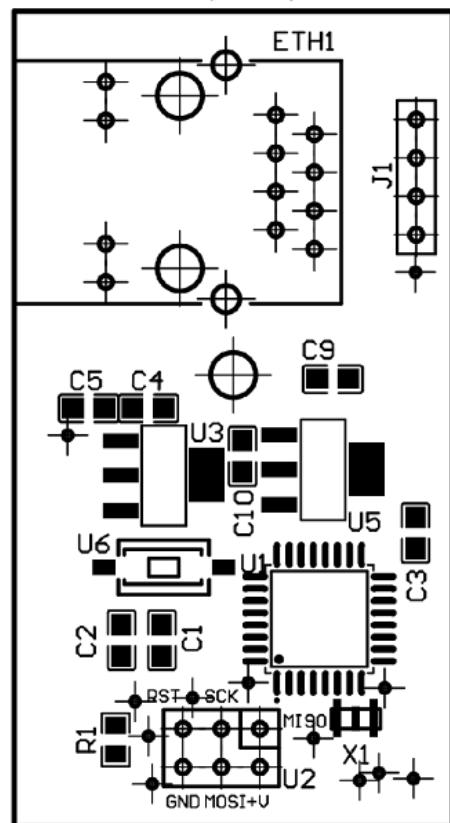
Лист 1 Листов 3

МАОУ гимназия 23

A(1)



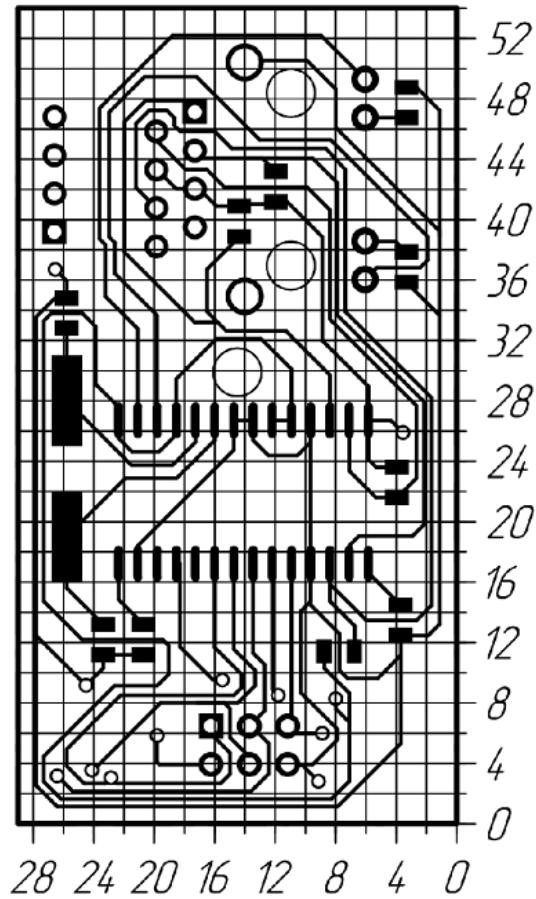
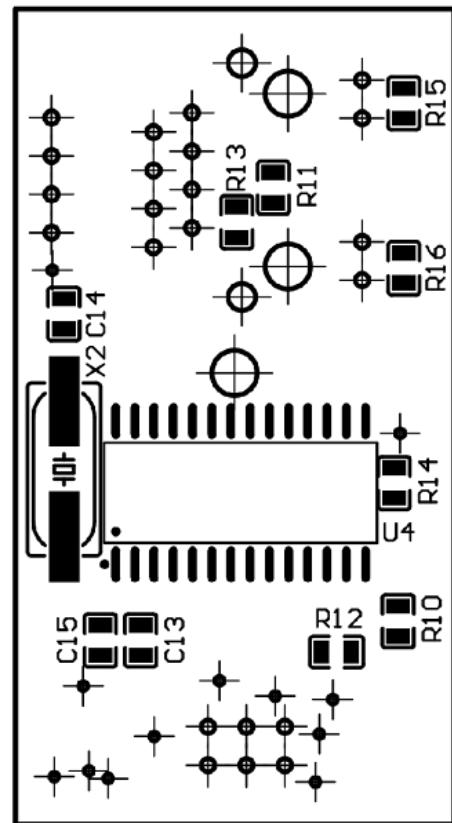
A(1)  
Слой маркировки



Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. и дата

Инф. № подл.	Подл. и дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подл. и дата

Б(1)

Б(1)  
Слой маркировки

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № подп.

RS485 ход

$\checkmark Rz 160$  (✓)

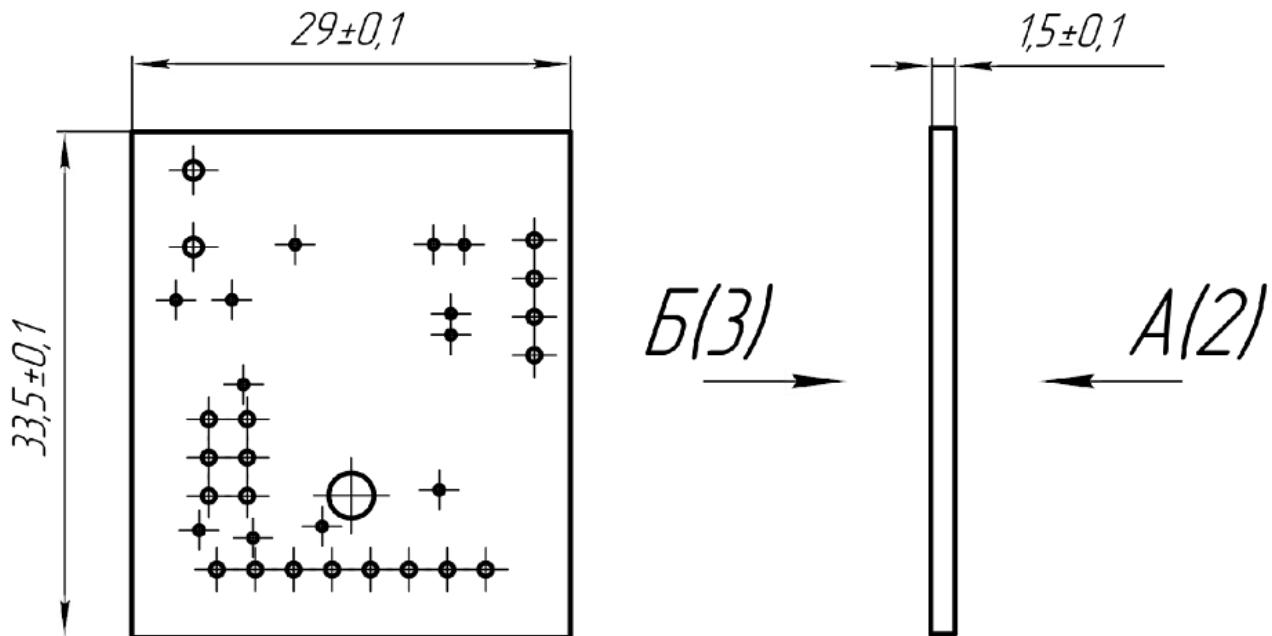


Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие metallизации	Кол. отв.
•	0,6	1,0	Да	12
••	0,89	1,6	Да	18
•+	1,2	2,4	Да	2
○	3	3,2	Да	1

RS485 ход

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рожков А. В.			
Пров.	Есин В. А.			
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

Лист	Масса	Масштаб
	2,5 г	2:1

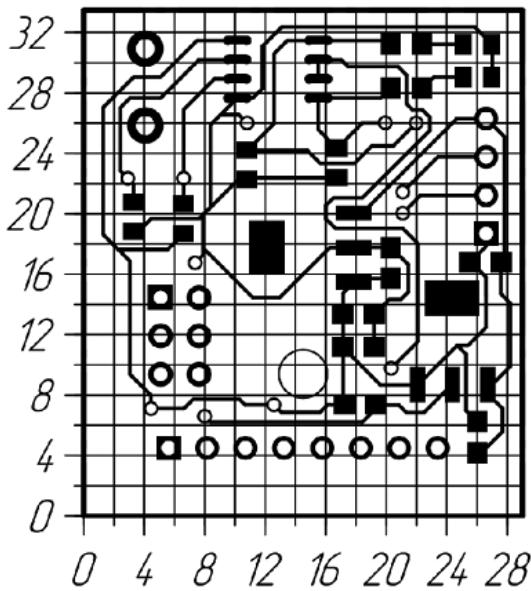
Чертёж

Фольгированный стеклопластик

57

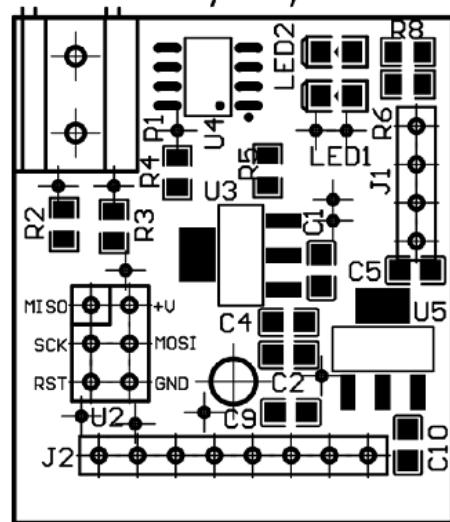
МАОУ гимназия 23

A(1)

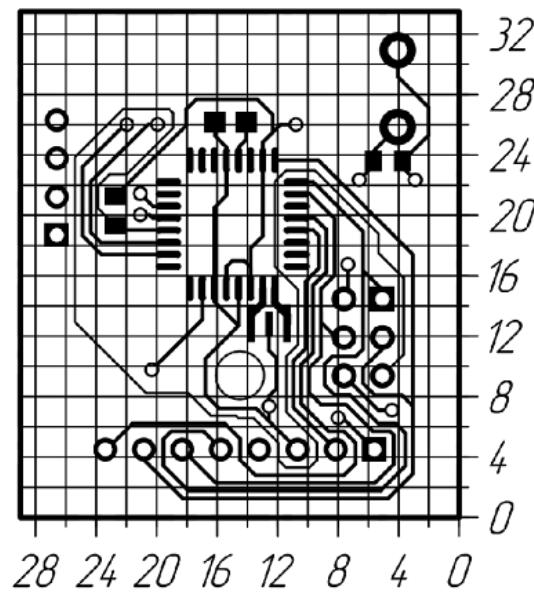


A(1)

Слой маркировки

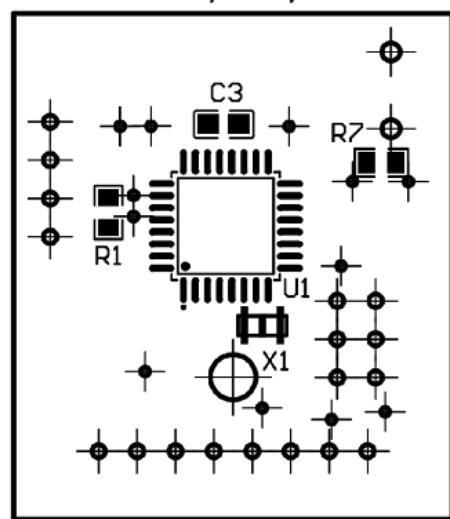


Б(1)



Б(1)

Слой маркировки

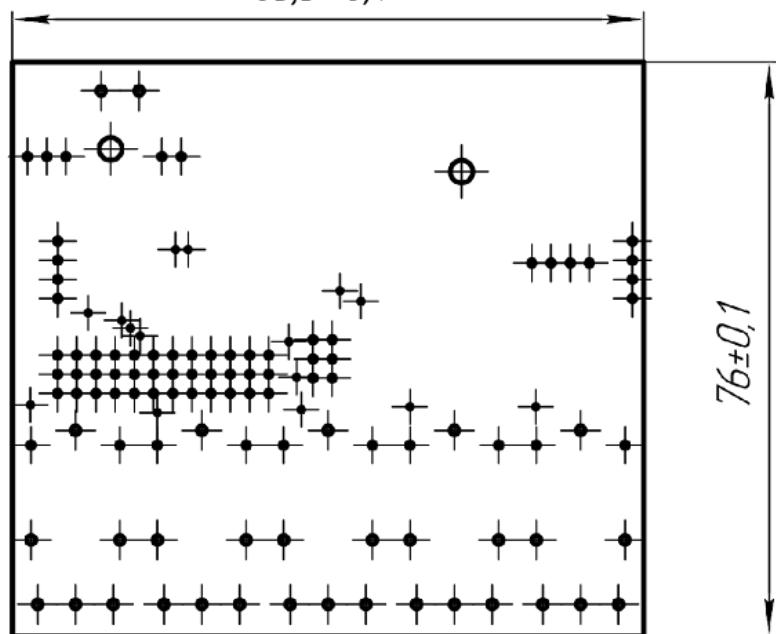


Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. и дата

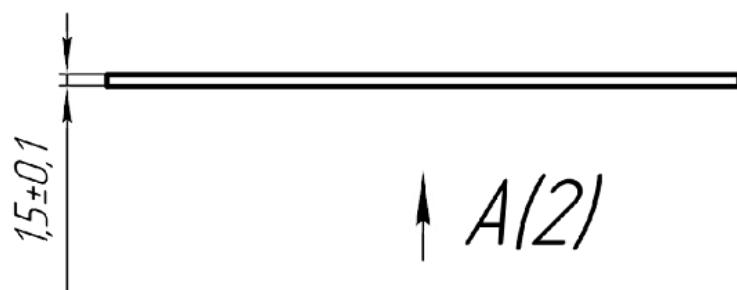
Исполнительный модуль с реле

$\sqrt{Rz\ 160}$  (✓)

$83,5 \pm 0,1$



Б(3)



А(2)

Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие metallизации	Кол. отв.
•	0,6	1,0	Да	15
•○	0,89	1,6	Да	69
○	1,2	2,0	Да	32
○○	3	3,2	Да	2

Исполнительный модуль с реле

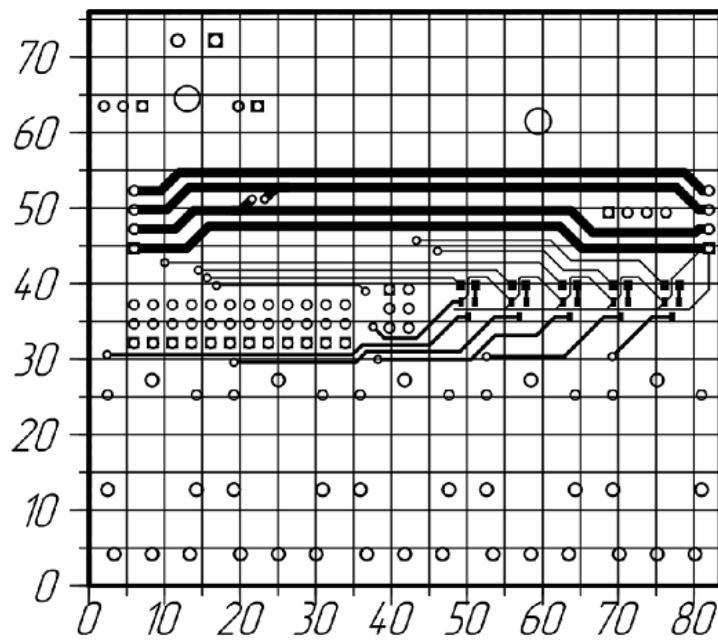
Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № докл.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Чертёж			Лист	Масса	Масштаб
								Изм	Лист	Чертёж			
Разраб.	Рожков А. В.										20 г		1:1
Пров.	Есин В. А.												
Т.контр.													
Иконтр.													
Утв.													

59

Фольгированный стеклотекстолит

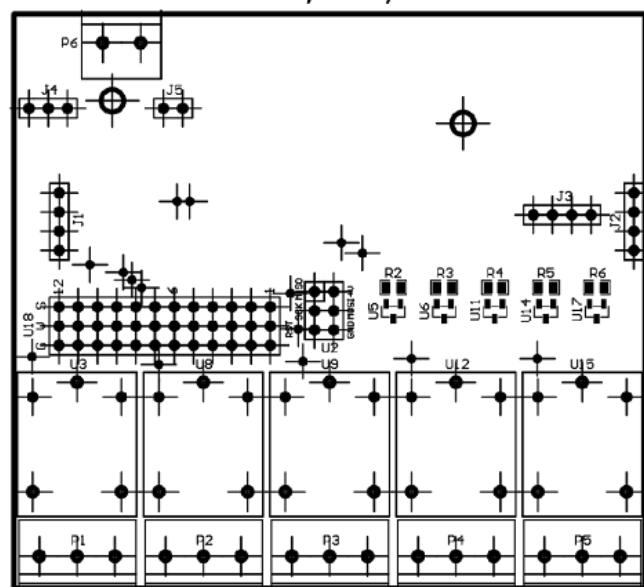
МАОУ гимназия 23

A(1)



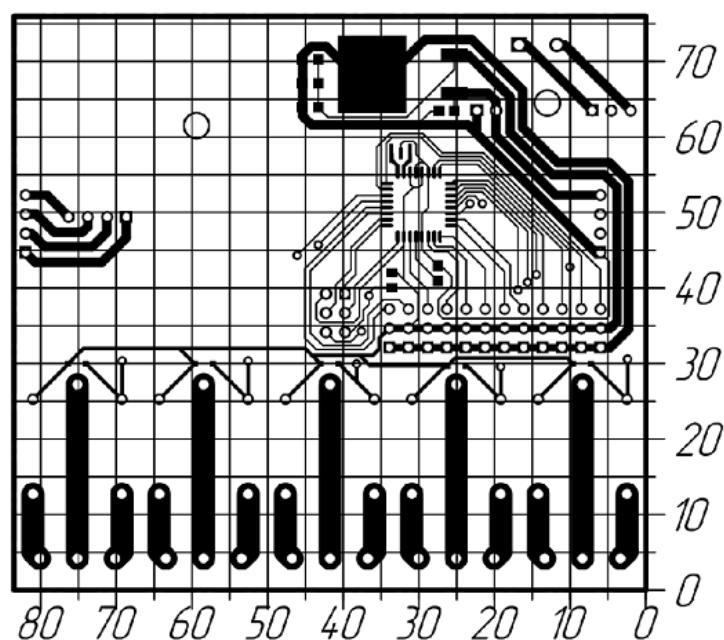
A(1)

Слой маркировки



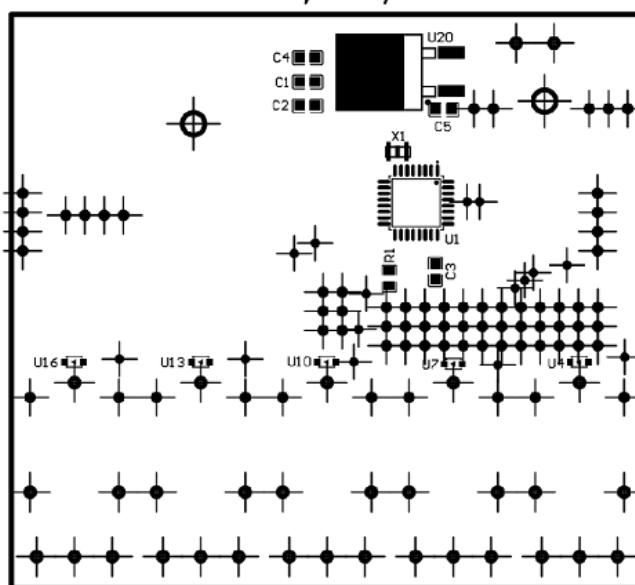
Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. и дата

Б(1)



Б(1)

Слой маркировки



Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

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

Министерство образования и науки Российской Федерации

$\sqrt{Rz\ 160}$  (✓)

Перв. примен.

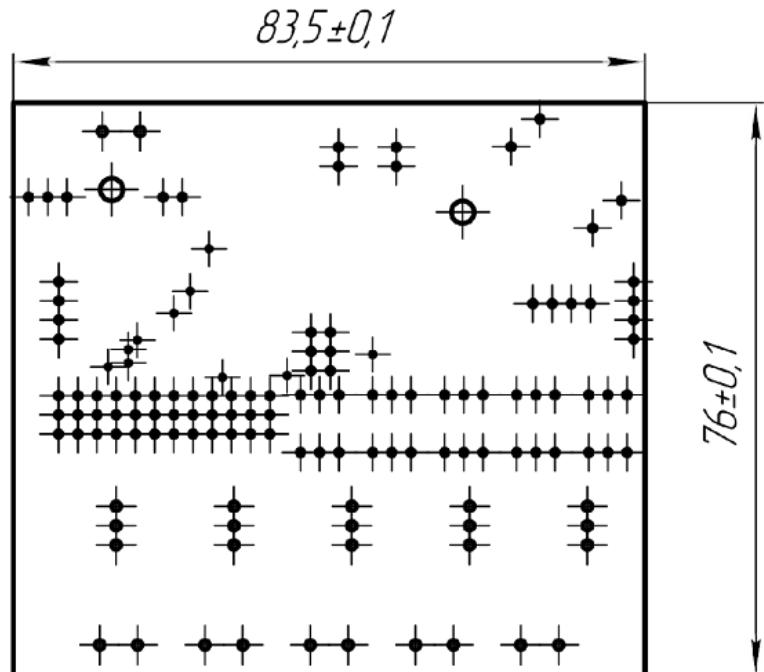
Стр. №

Подп. и дата

Инд. №

Подп. и дата

Инд. № подп.



5(3)

A(2)

Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие metallизации	Кол. отв.
•	0,6	1,0	Да	10
••	0,89	1,4	Да	97
•••	1,2	2,0	Да	27
○	3	3,2	Да	2

Исполнительный модуль с симисторами

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рожков А. В.			
Проф.	Есин В. А.			
Т.контр.				
Иконтр.				
Утв.				

Лист	Масса	Масштаб
	20 г	1:1

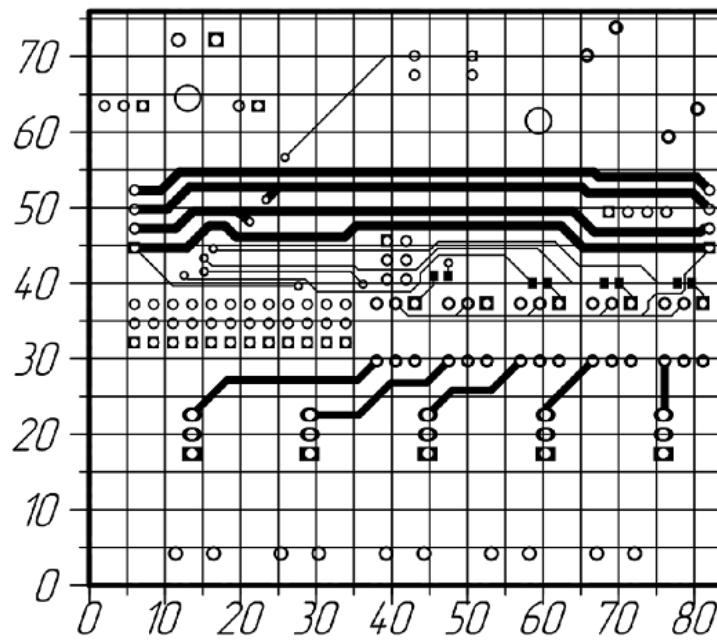
Чертёж

62

Фольгированный стеклотекстолит

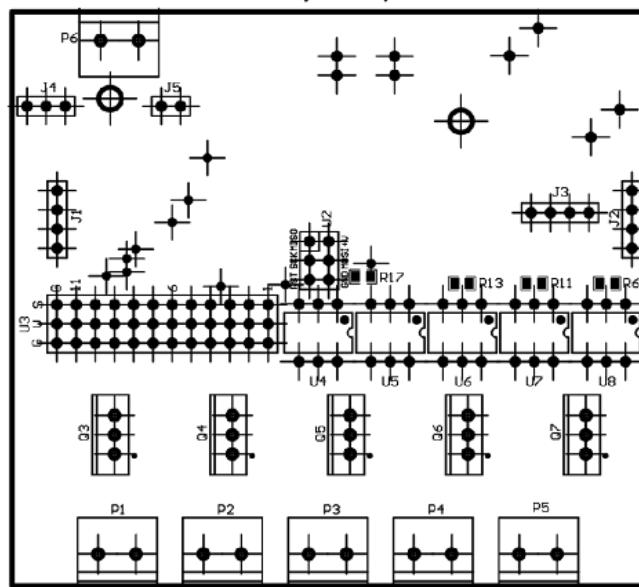
МАОУ гимназия 23

A(1)



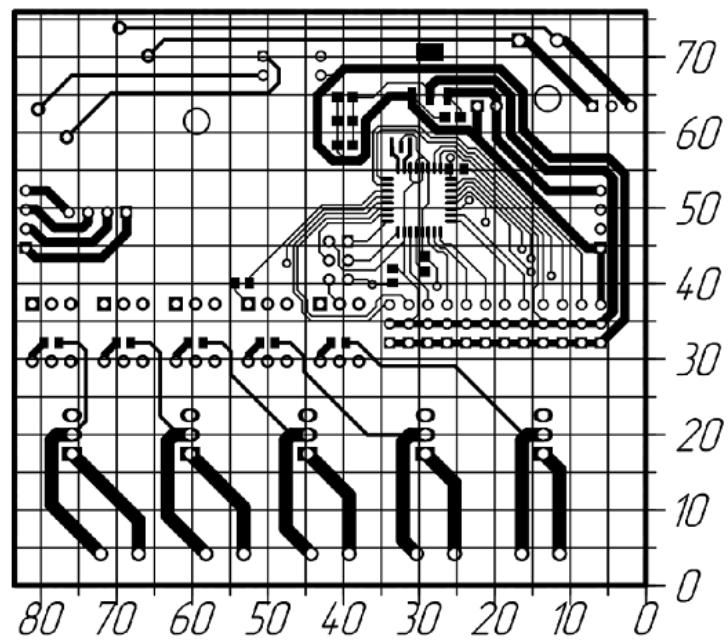
A(1)

Слой маркировки



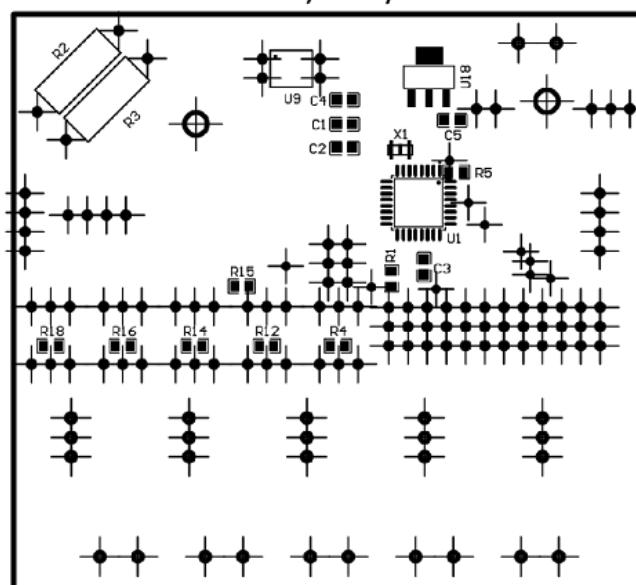
Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. и дата

Б(1)



Б(1)

Слой маркировки



Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. и дата

Перф. примен.
Граф. №

Подп. и дата
Взам. инф. №

Инф. № подп.

Любопытно, что в документе есть даже специальный блок для записи "Причина отказа".

$\checkmark Rz 160 (\checkmark)$

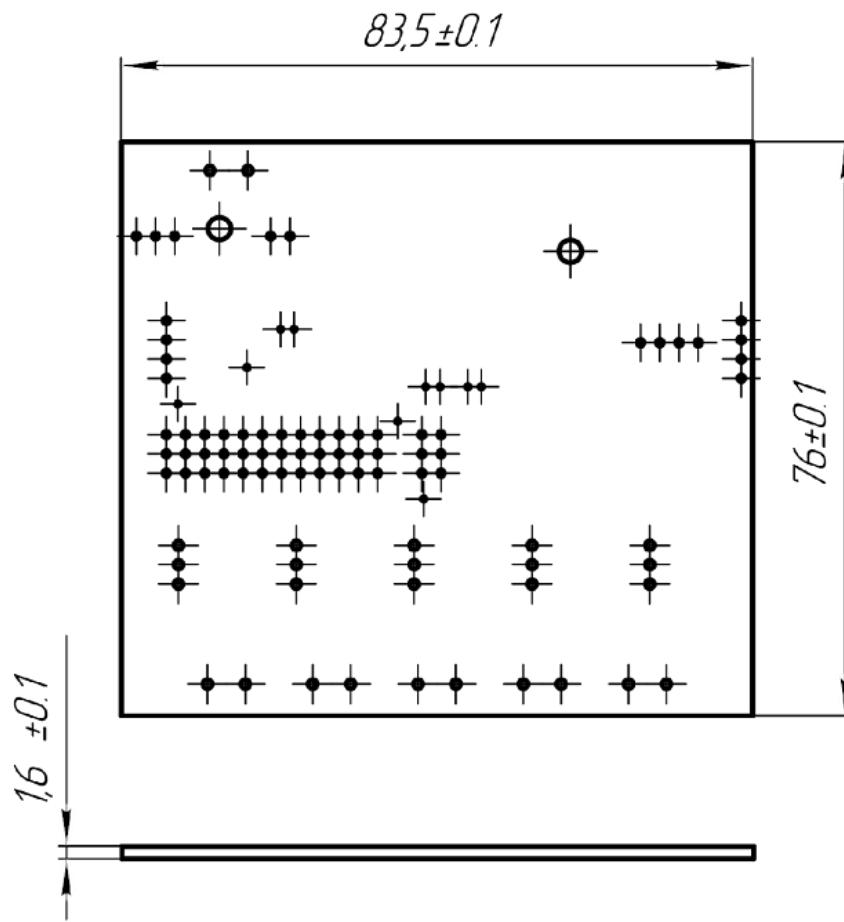


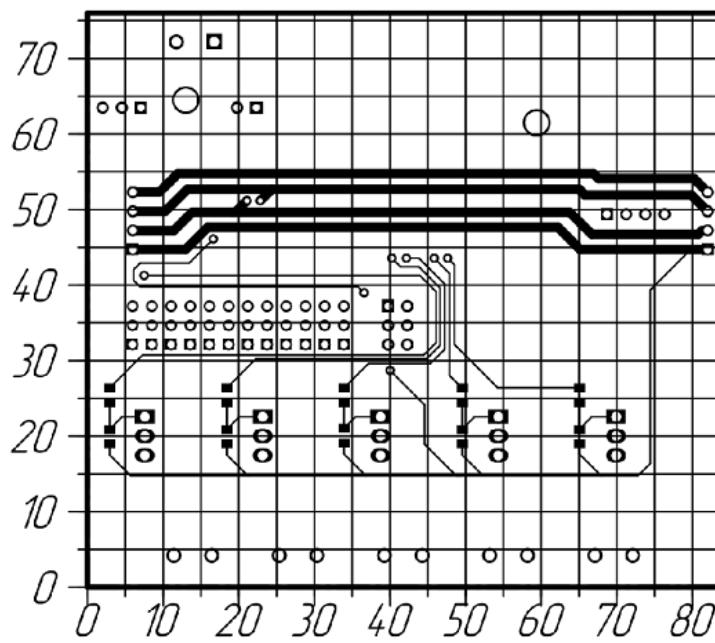
Таблица 1

Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр конт. площадки, мм	Наличие metallизации	Кол. отв.
•	0,6	1,0	Да	10
•○	0,89	1,6	Да	59
•○	1,2	2,0	Да	27
○	3	3,2	Да	2

### Исполнительный модуль с транзисторами

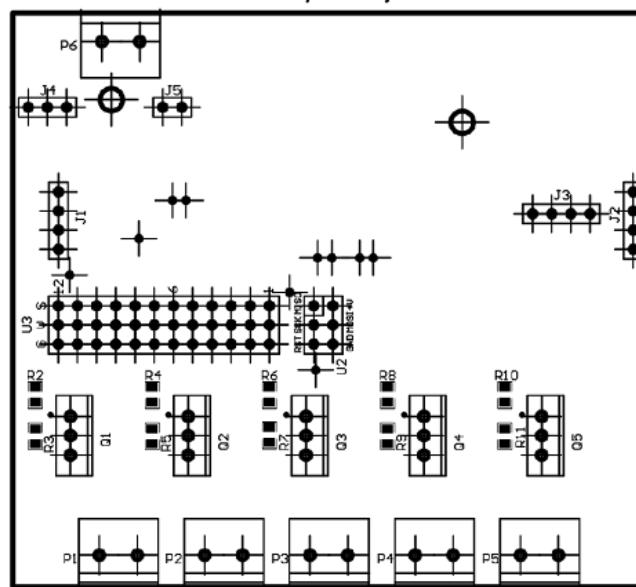
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Рожков А. В.						
Проф.	Есин В. А.						
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							
Чертёж					Лист 1	Листов 3	1:1
Фольгированый стеклопластик					МАОУ гимназия 23		
65					Формат А4		

A(1)



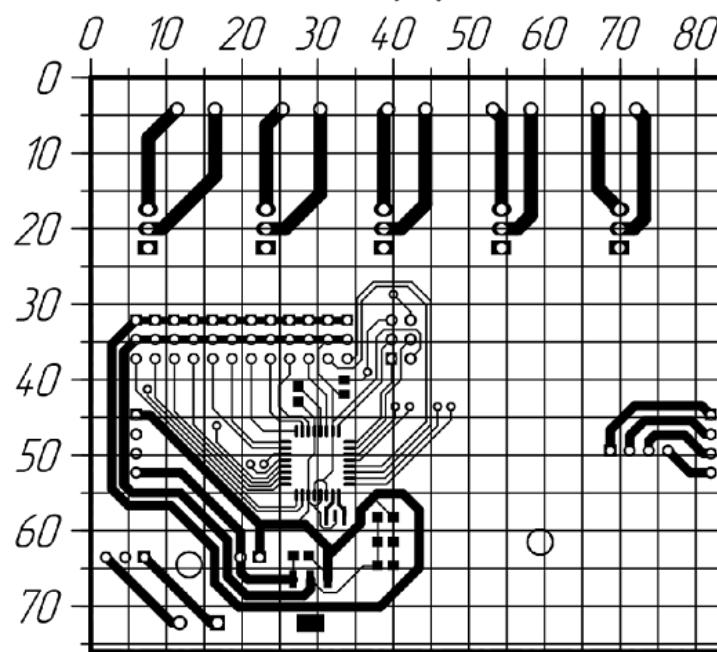
A(1)

Слой маркировки



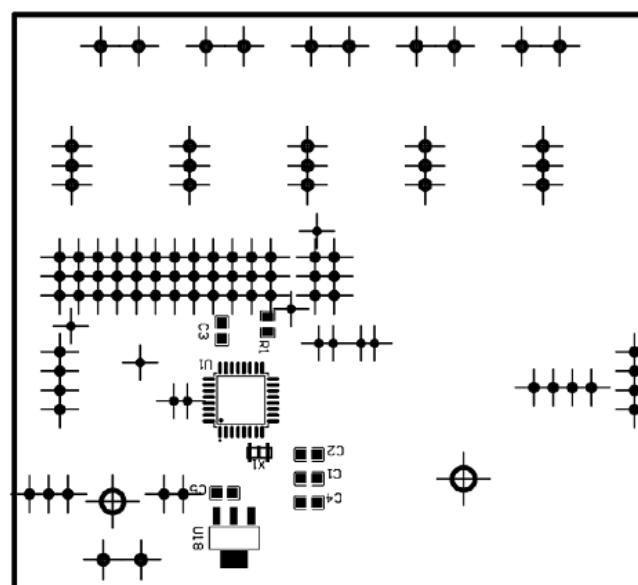
Инд. № подл.	Подл. и дата	Взам. инд. №	Инд. № изм.	Подл. и дата

Բ(1)



Բ(1)

Слой маркировки

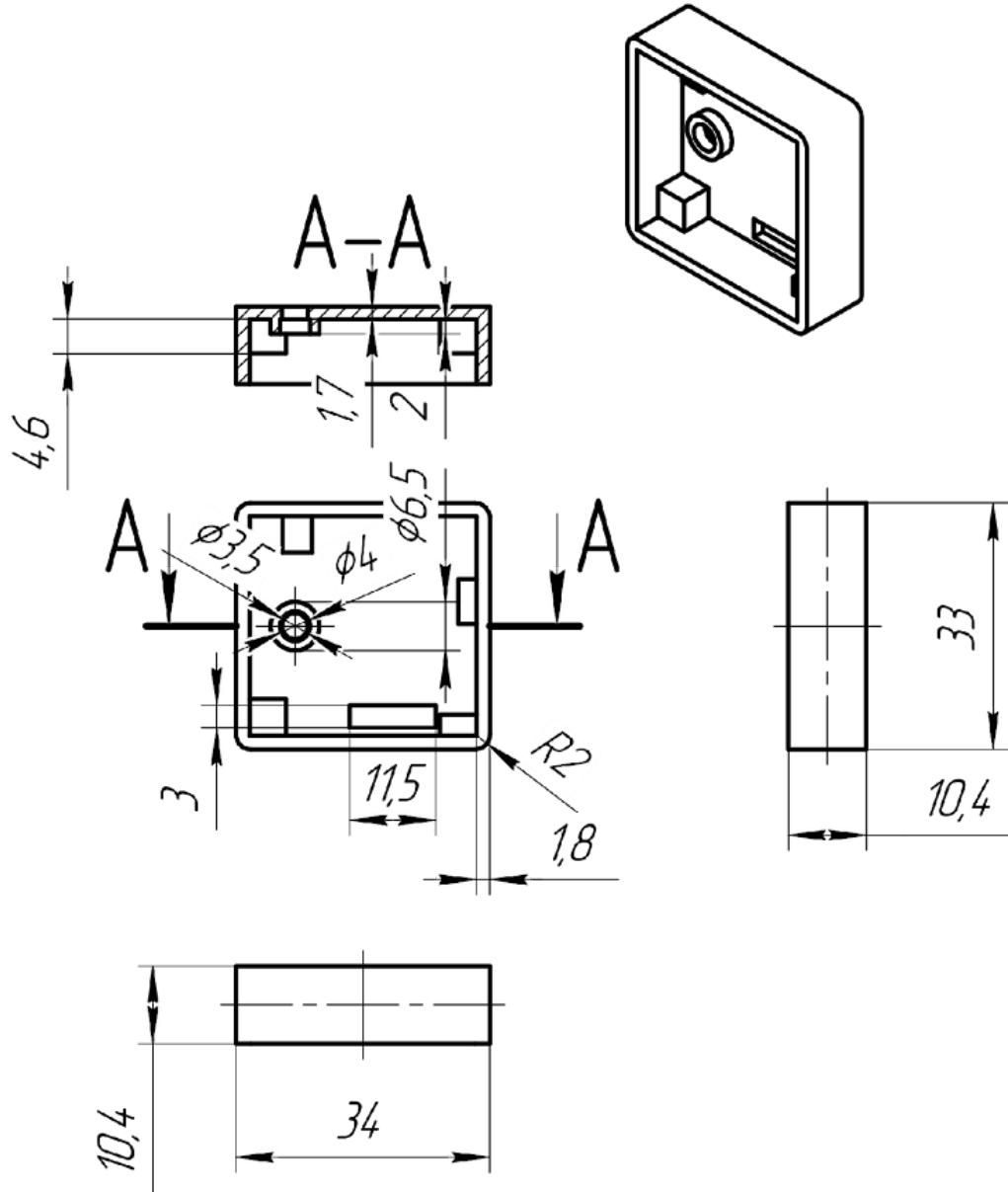


Инф. № подл.	Подл. и дата	Взам. инф. №	Инф. № зи	Подл. и дата

Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

## A (Нижняя крышка)



Инф. № подл.	Подл. и дата	Взам. инф. №	Инф. № докл.	Подл. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рожков А. В.			
Проф.	Есин В. А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Корпус Wifi хаба

Чертёж

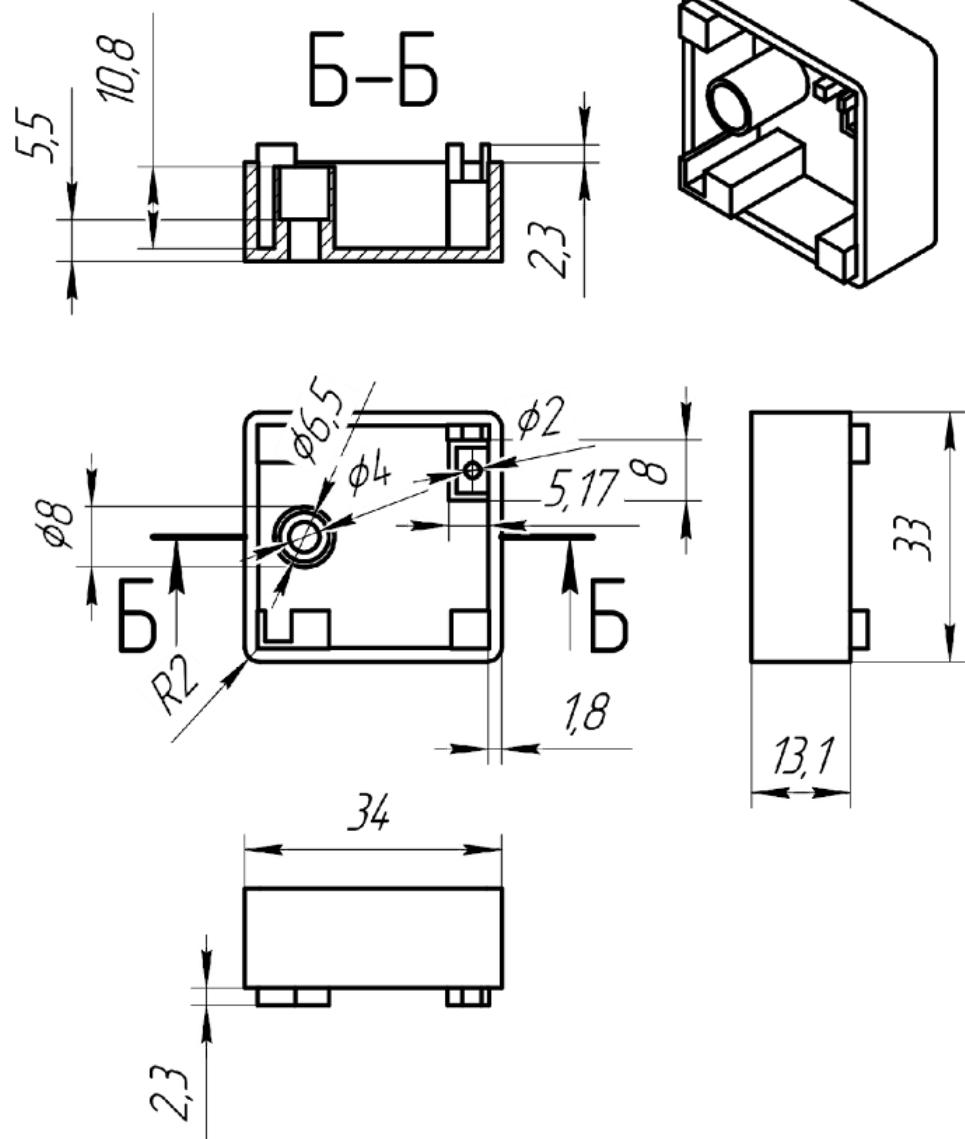
69

ПЭТГ

Лит.	Масса	Масштаб
	11 г	1:1
Лист 1	Листов 2	

МАОУ гимназия 23

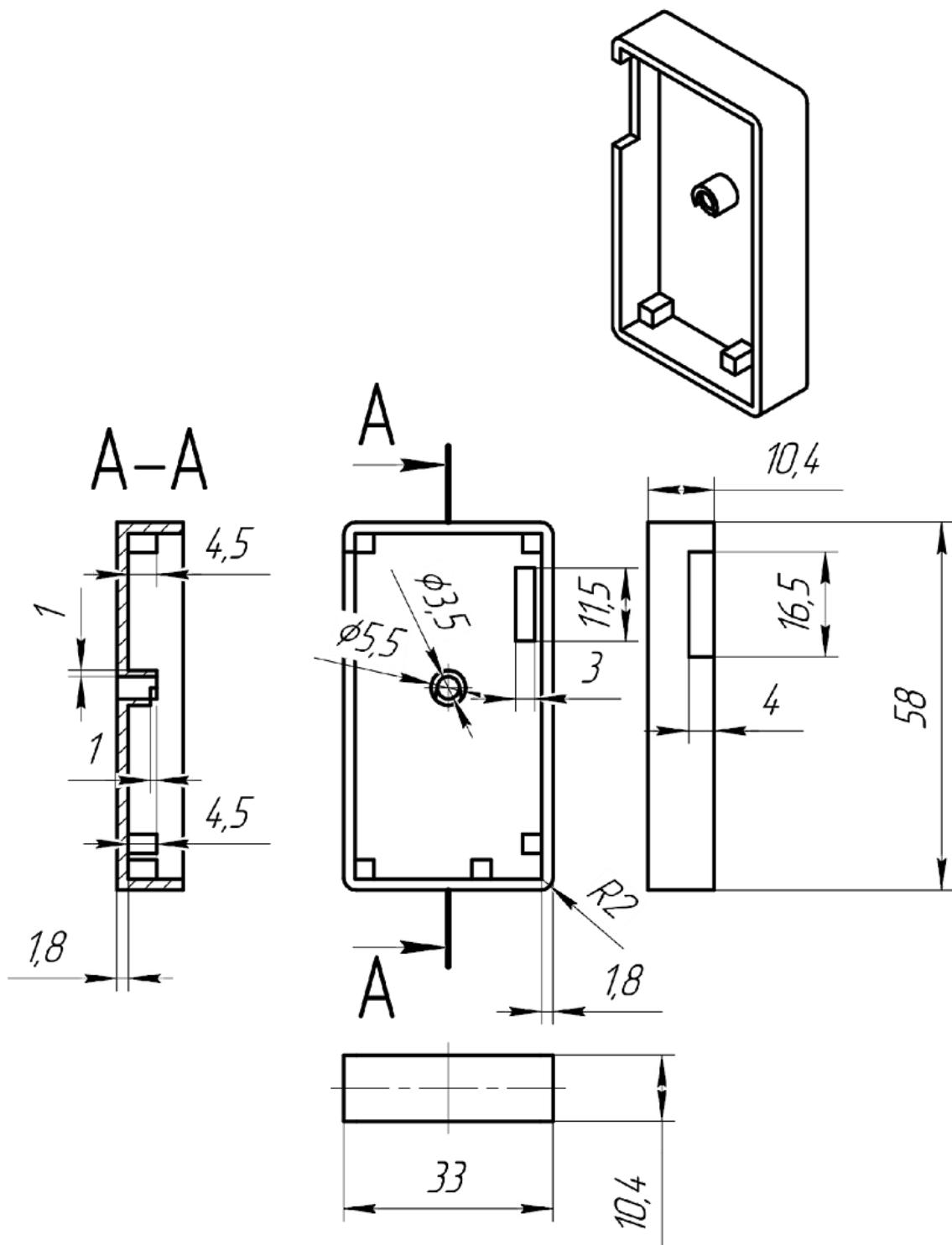
## Б (Верхняя крышка)



Инф. № подл.	Подп. и дата	Взам. инф. №	Инф. №	Подп. и дата

Корпус Ethernet хаба

# А (Нижняя крышка)



Корпус Ethernet хаба

Чертёж

71

ПЭТГ

Лит.	Масса	Масштаб
	15 г	1:1

Лист 1 Листов 2

МАОУ гимназия 23

Герб. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № подп.

Подп. и дата

Изм.

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Разраб.

Рожков А. В.

Подп.

Есин В. А.

Дата

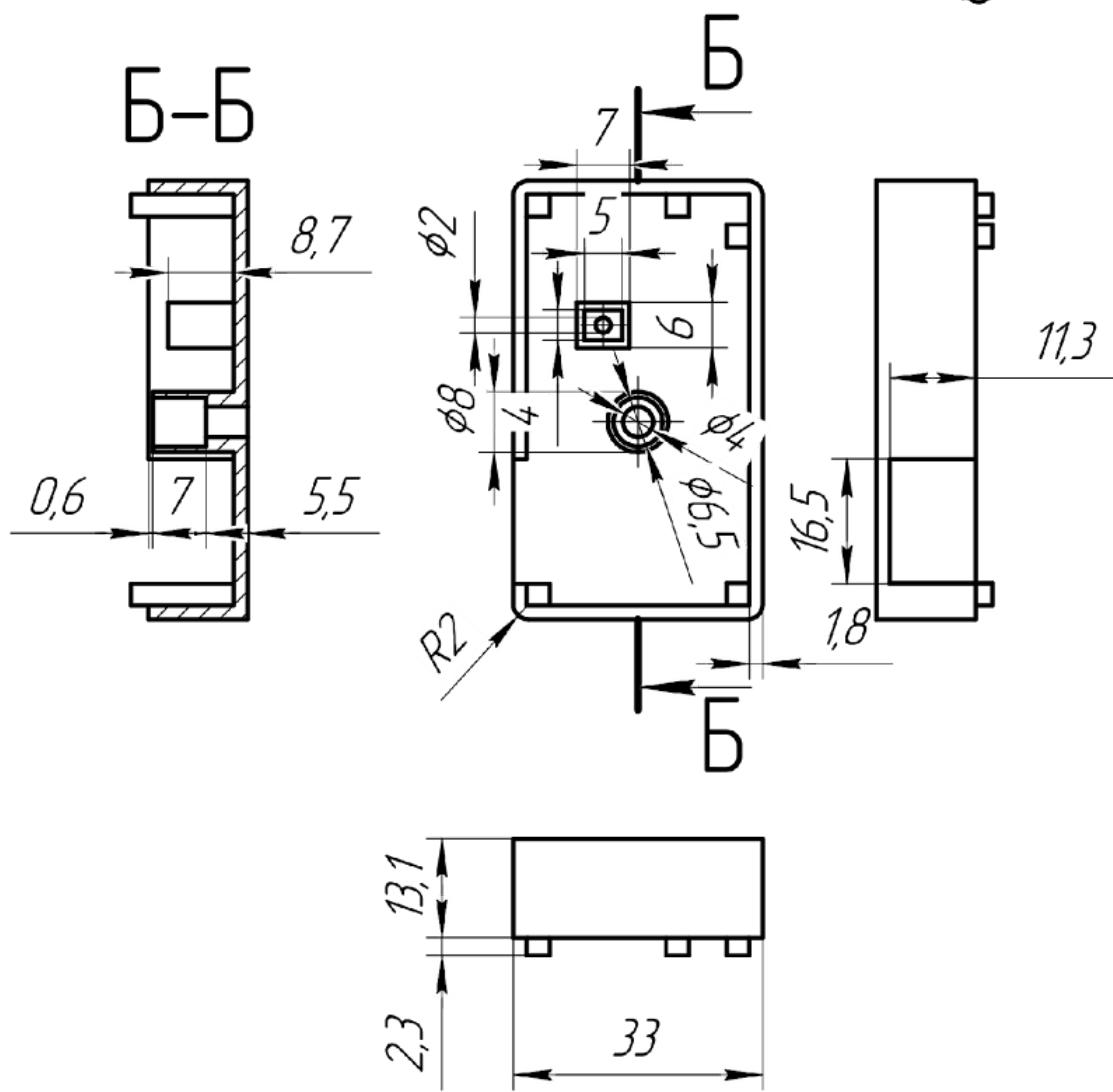
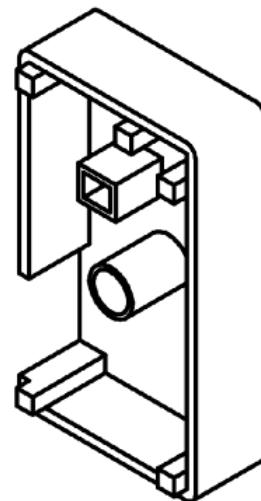
Проф.

Т.контр.

И.контр.

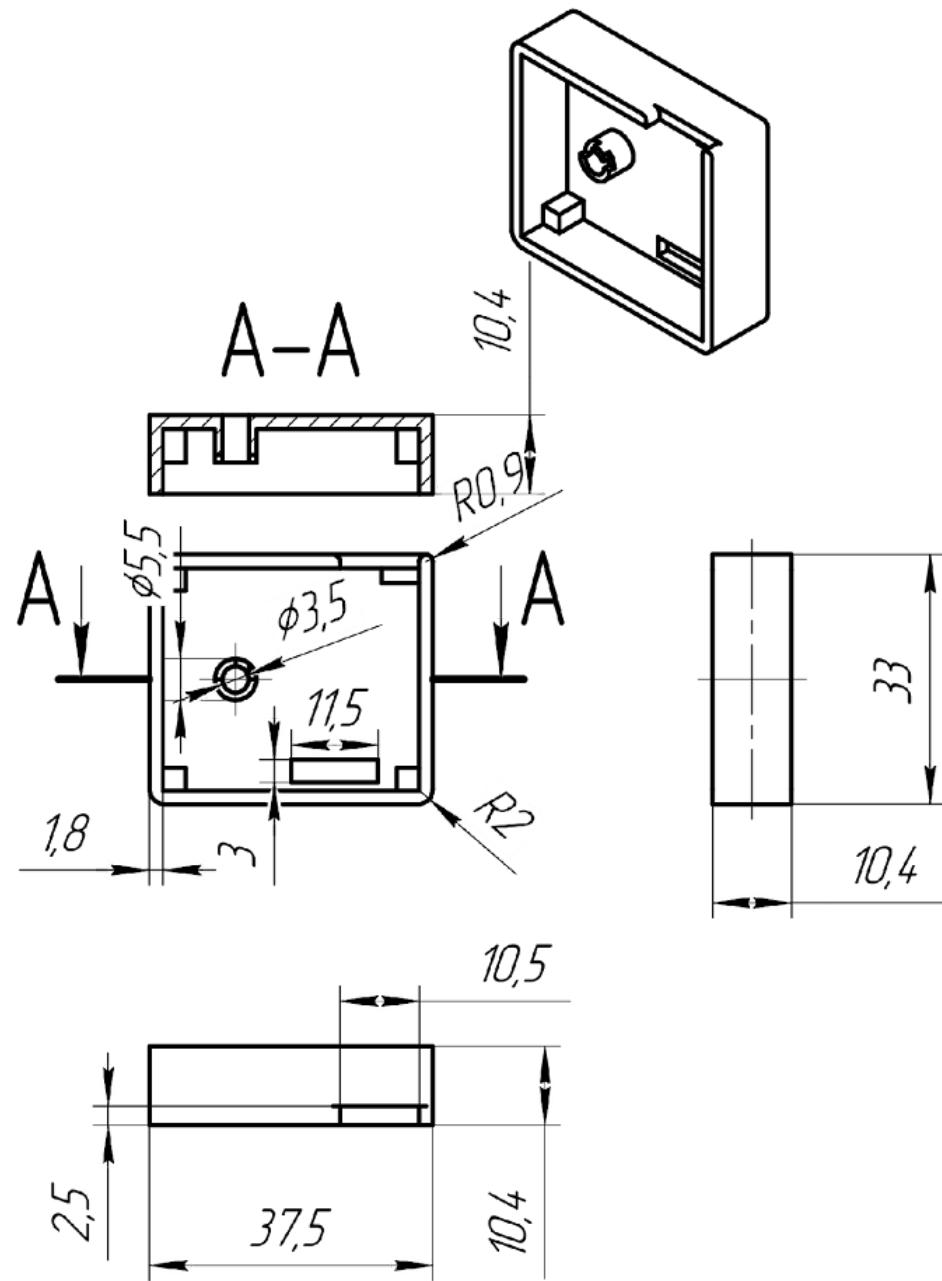
Утв.

# Б (Верхняя крышка)



Инф. № подл.	Подл. и дата	Взам. инф. №	Инф. № докл.	Подл. и дата

## A (Нижняя крышка)



## Корпус RS-485 хаба

Чертёж

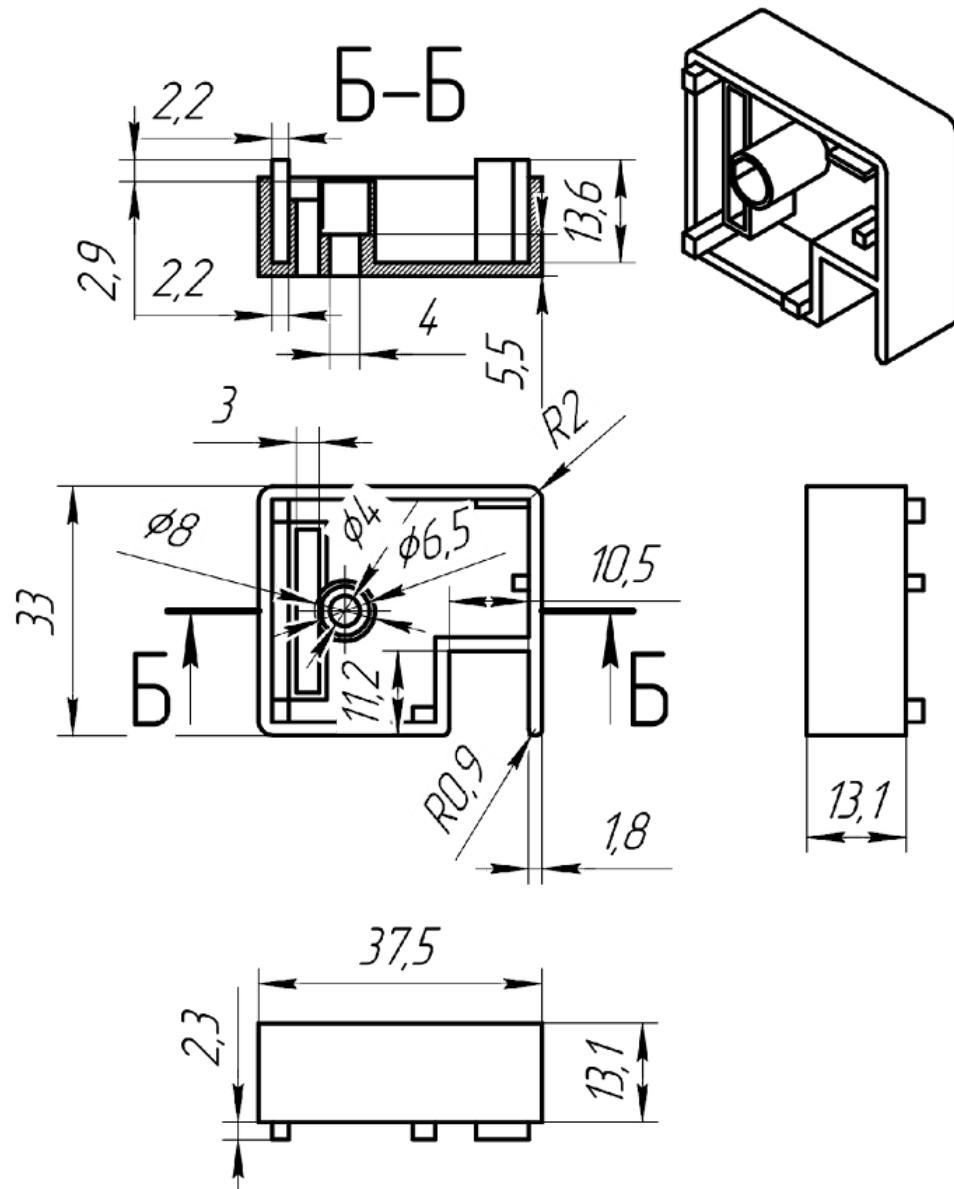
73

ПЭТГ

Инв. № подп.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рожков А. В.			
Проф.	Есин В. А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Лит.	Масса	Масштаб
	11 г	1:1
Лист 1	Листов 2	

## Б (Верхняя крышка)



Инф. № подл.	Подл. и дата	Взам. инф. №	Инф. №	Подл. и дата

Копи́рко м огоңқылашпнннц күпүж

Герб. примен.

Справ. №

Подп. и дата

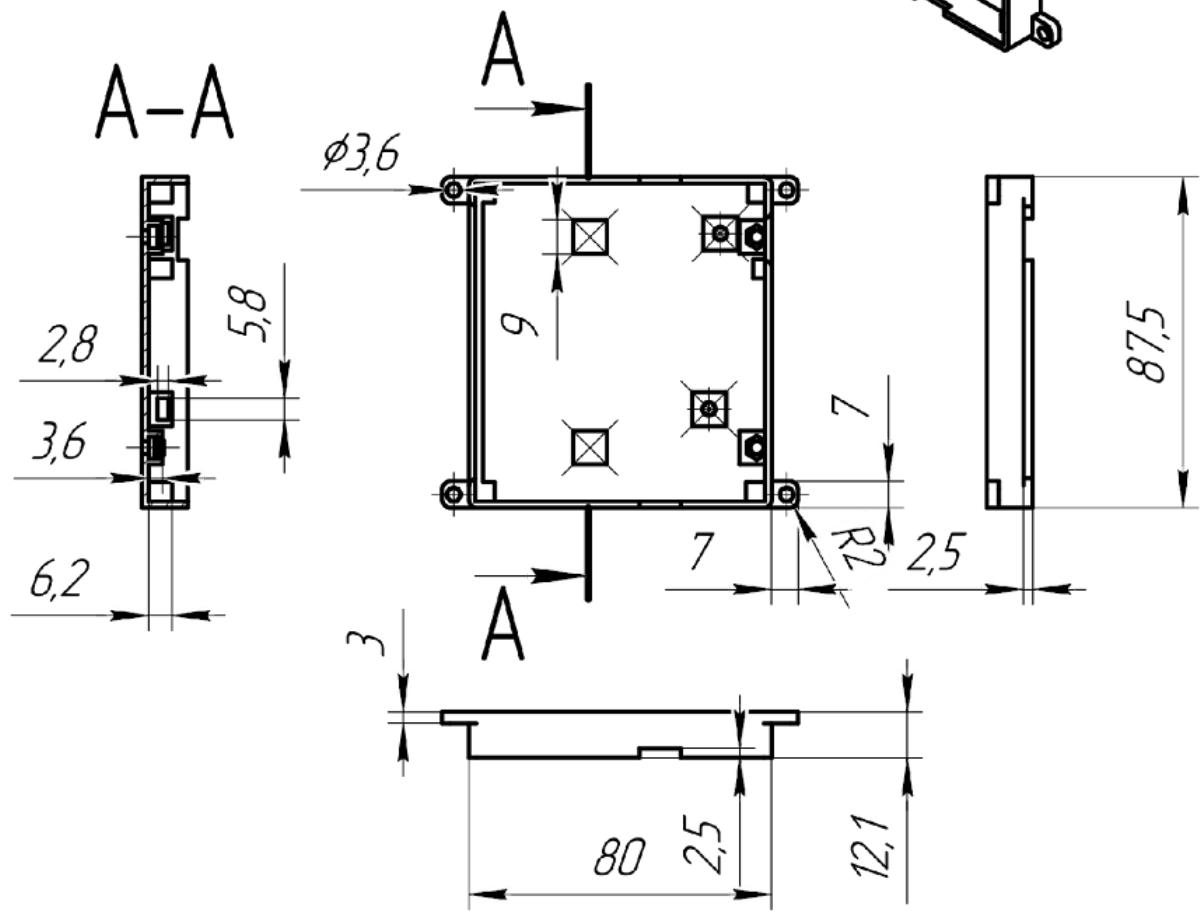
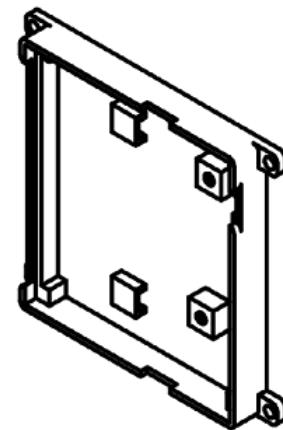
Взам. инв. №

Инв. №

Подп.

дата

# A (Нижняя крышка)



Корпус исполнительного модуля

Чертёж

75

ПЭТГ

Лит. Масса Масштаб

43 г 1:2

Лист 1 Листов 2

Инв. № подп.

Изм.

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Разраб.

Рожков А. В.

Проф.

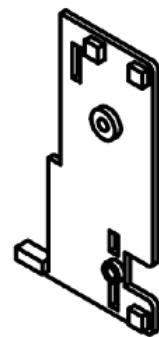
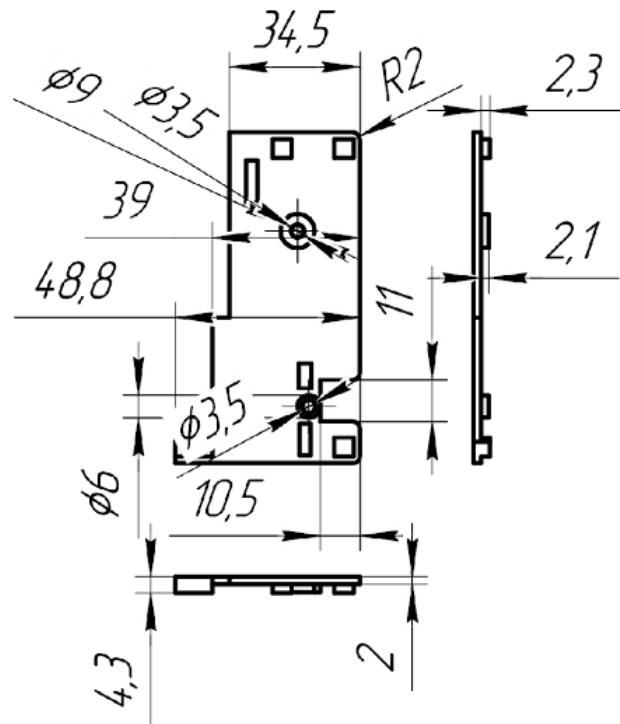
Есин В. А.

Т.контр.

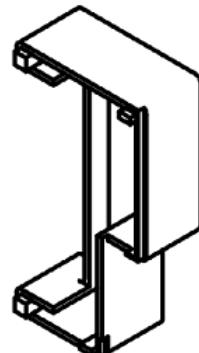
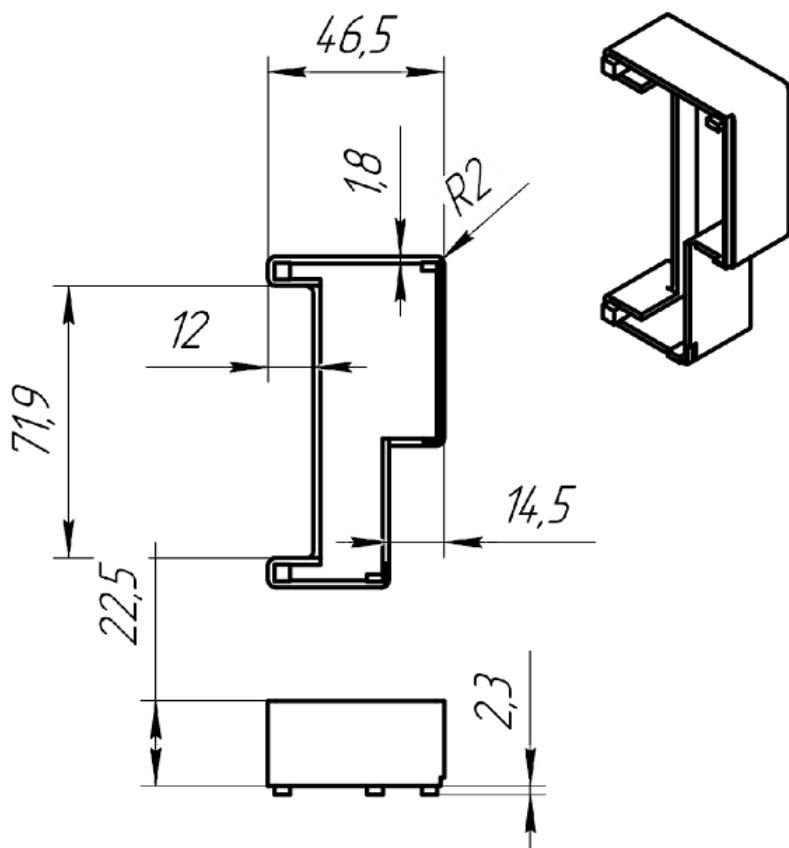
И.контр.

Утв.

## Б (Верхняя плоская крышка)



## В (Верхняя объемная крышка)



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

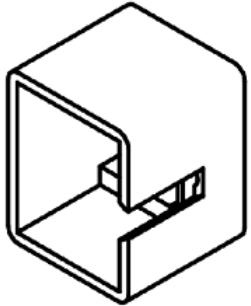
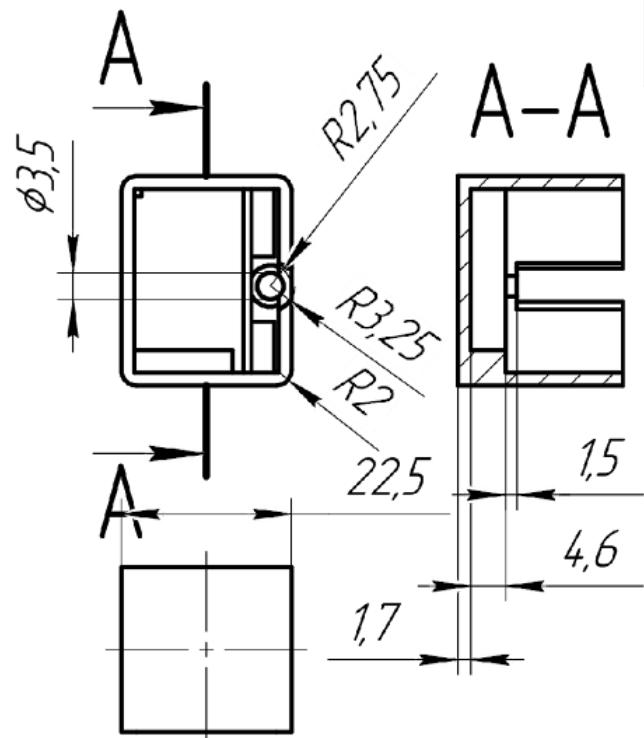
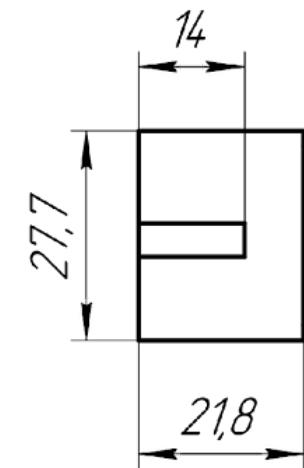
Копио в кириллице

Герб. примен.

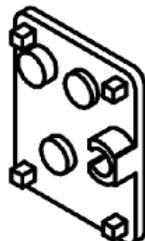
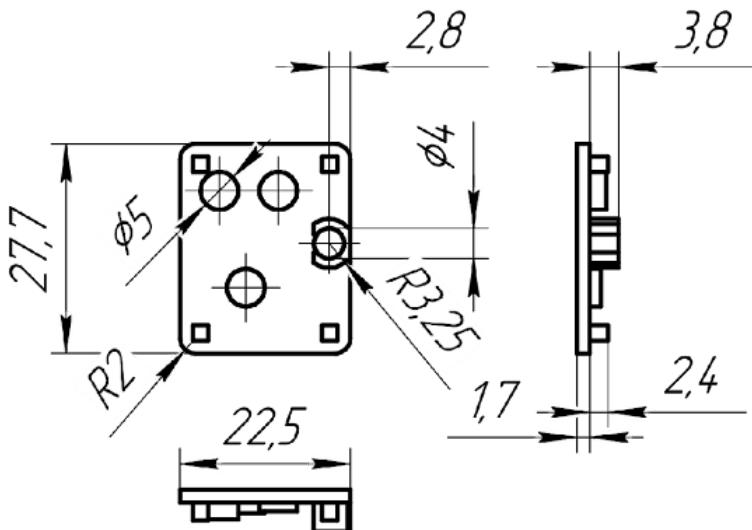
Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подп.



Б (Верхняя крышка)



Корпус модуля питания

Чертёж

77

ПЭТГ

Лит.	Масса	Масштаб
	7 г	1:1

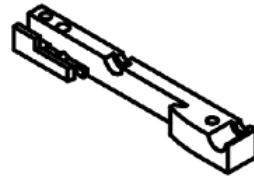
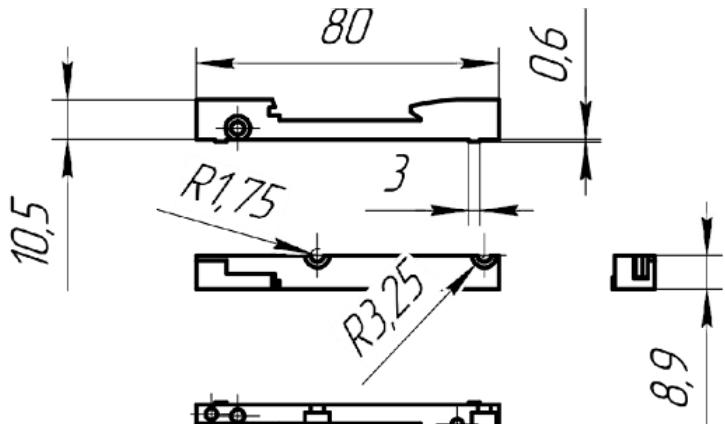
Лист Листов 1

МАОУ гимназия 23

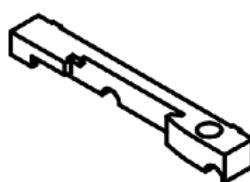
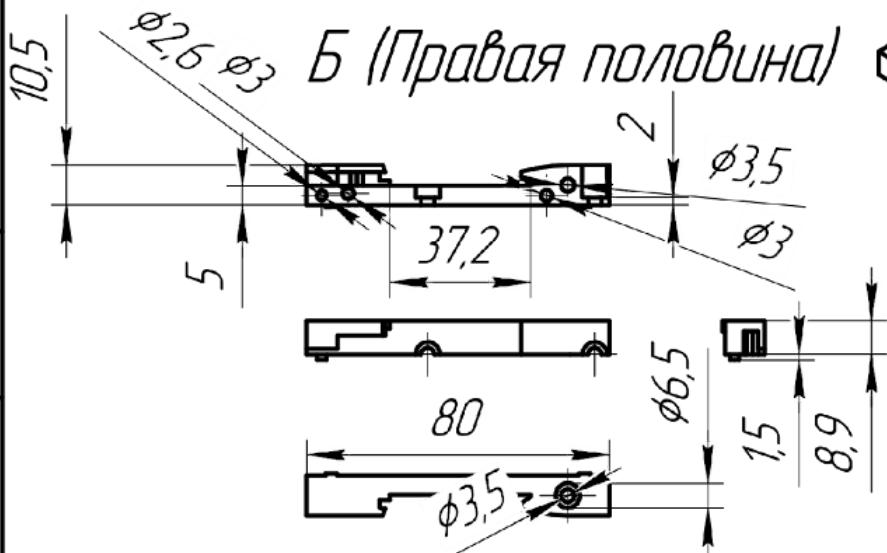
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Рожков А. В.			
Проф.	Есин В. А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Крепление к монтажной рейке

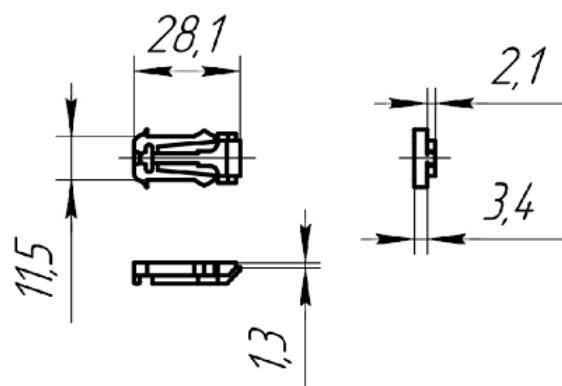
*А (Левая половина)*



*Б (Правая половина)*



*В (Ползунок)*



*Крепление на монтажную рейку*

Инв. № подл.	Подл. и дата	Взам. инв. №	Инв. № модел.	Подл. и дата
Изм. лист	№ докум.			
Разраб.	Рожков А. В.			
Проф.	Есин В. А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Чертёж

78

ГЭТГ

Лит.	Масса	Масштаб
	12 г	1:2

Лист Листов 1

МАОУ гимназия 23

Рамка для нанесения маски

Герб, примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № подп.

Изм.

Лист

№ докум.

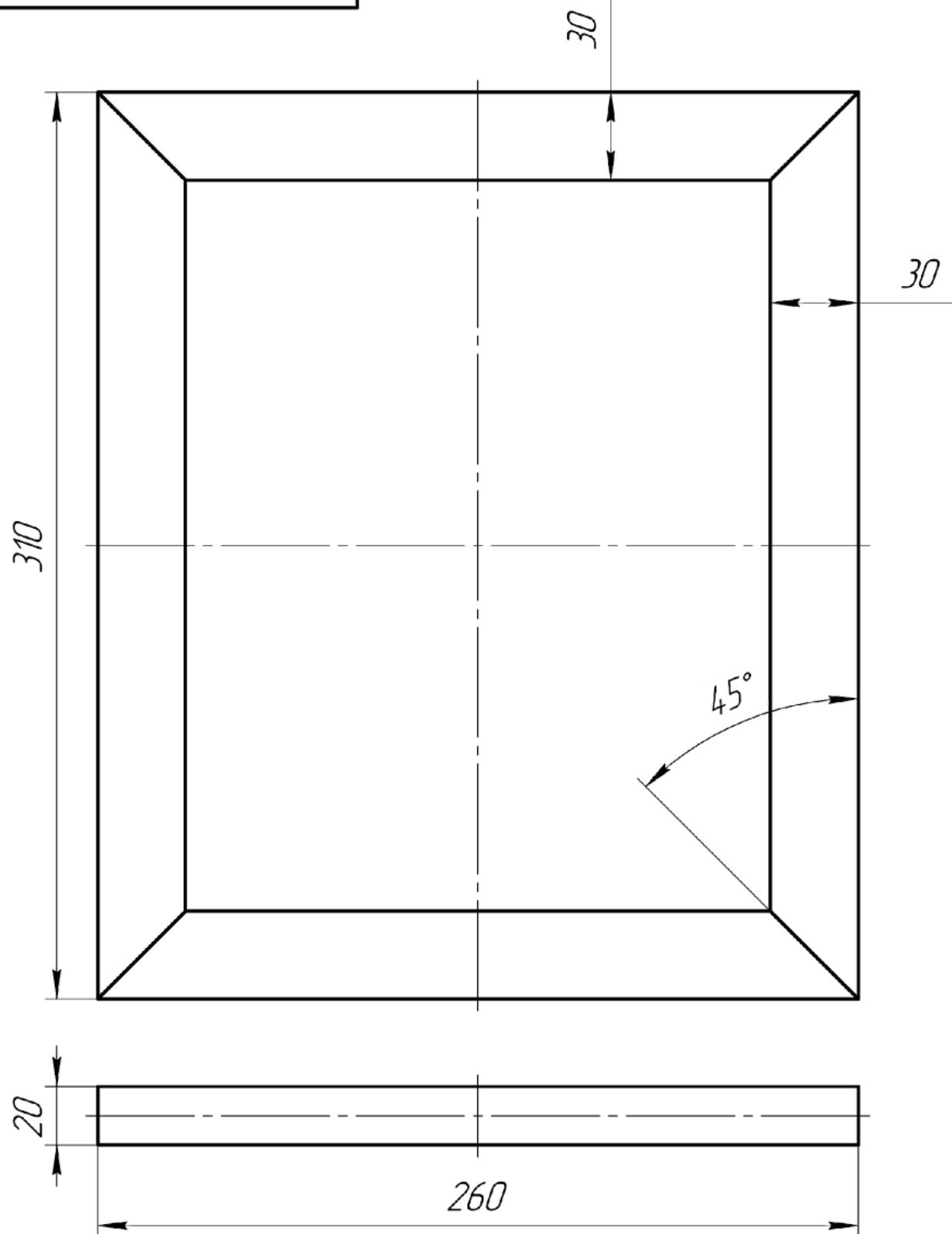
Разраб.

Проф.

Т.контр.

Н.контр.

Утв.



Рамка для нанесения маски

Чертёж

79

Сосна

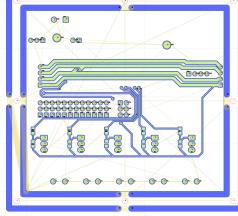
Лит.	Масса	Масштаб
	320 г	1:2

Лист Листов 1

МАОУ гимназия 23

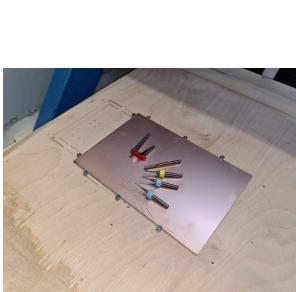
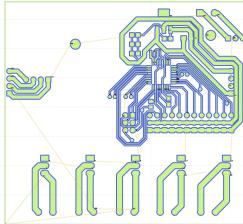
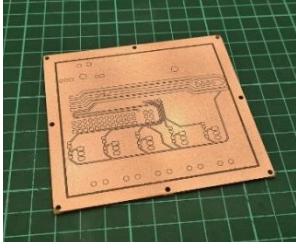
## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Технологическая карта изготовления устройства системы «умный дом»

<b>№ п/п</b>	<b>Содержание операции</b>	<b>Иллюстрация</b>	<b>Оборудование, инструменты и приспособления</b>
1. Изготовление печатной платы			
1	Шлифовать обе стороны заготовки из фольгированного стеклотекстолита 100 x 150 мм при помощи шлифовального бруска		Верстак, шлифовальный бруск
2	Закрепить заготовку лицевой стороной вверх на столе фрезерного станка с ЧПУ при помощи саморезов		Фрезерный станок с ЧПУ, отвёртка
3	Сканировать поверхность заготовки при помощи конического гравера и функции Z-щупа		Фрезерный станок с ЧПУ, конический гравер 45° 0,1 мм, Z-щуп
4	Выполнить коррекцию G-code в программе G-code Ripper на основе полученной карты высот		Программа G-code Ripper
5	Гравировать дорожки верхнего слоя платы		Фрезерный станок с ЧПУ, конический гравер 45° 0,1 мм
6	Гравировать окантовку верхнего слоя платы		Фрезерный станок с ЧПУ, прямой гравер 1,2 мм
7	Сверлить направляющие отверстия диаметра 2,4 мм		Фрезерный станок с ЧПУ, сверло твердосплавное 2,4 мм
8	Выполнить первичное фрезерование по контуру с припуском		Фрезерный станок с ЧПУ, фреза типа «кукуруза» 2,4 мм
9	Открепить заготовку от стола станка и убрать образовавшуюся стеклотекстолитовую пыль при помощи пылесоса		Фрезерный станок с ЧПУ, отвёртка, пылесос
10	Срезать перемычки при помощи ножниц по металлу		Верстак, ножницы по металлу

11	Сверлить направляющие отверстия в столе станка сверлом 1 мм		Фрезерный станок с ЧПУ, сверло твердосплавное 1 мм
----	---	--	--

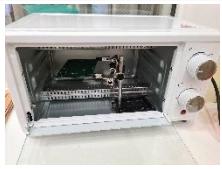
Продолжение таблицы Г.1

12	Закрепить заготовку на столе станка обратной стороной вверх при помощи саморезов, вкрученных в направляющие отверстия		Фрезерный станок с ЧПУ, отвёртка
13	Сканировать поверхность заготовки при помощи конического гравера и функции Z-щупа		Фрезерный станок с ЧПУ, конический гравер 45° 0,1 мм, Z-щуп
14	Выполнить коррекцию G-code в программе G-code Ripper на основе полученной карты высот		Программа G-code Ripper
15	Гравировать дорожки нижнего слоя платы		Фрезерный станок с ЧПУ, конический гравер 45° 0,1 мм
16	Гравировать окантовку нижнего слоя платы		Фрезерный станок с ЧПУ, прямой гравер 1,2 мм
17	Открепить заготовку от стола станка		Фрезерный станок с ЧПУ, отвёртка
18	Снять заусенцы, появившиеся при гравировке, шлифовальным бруском. Визуально проконтролировать глубину прорезания гравера. Продуть заготовку при помощи пистолета для сжатого воздуха		Верстак, шлифовальный бруск, воздушный компрессор, продувочный пистолет
19	Смешать 2 компонента паяльной маски в указанной в инструкции пропорции		Рабочий стол, инструкция, точные электронные весы, 2 пластиковые лопатки, пластиковая подложка
20	Обезжирить поверхности заготовки спиртом		Кусок ткани
21	Закрепить заготовку в приспособлении для нанесения паяльной маски и наклеить		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии

	малярный скотч на сетку по периметру платы		
22	Нанести определённое количество маски на сетку		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии, пластиковые лопатки

Продолжение таблицы Г.1

23	Равномерно и с нажимом распределить маску по поверхности заготовки резиновым шпателем		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии, резиновый шпатель
24	Поднять рамку и извлечь плату		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии
25	Закрепить плату в приспособлении обратной стороной вверх		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии
26	Нанести определённое количество маски на сетку		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии, пластиковые лопатки
27	Равномерно и с нажимом распределить маску по поверхности заготовки резиновым шпателем		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии, резиновый шпатель
28	Поднять рамку и извлечь плату		Рабочий стол, рамка с сеткой для шелкографии
29	Греть плату в печи в течение 15 минут при температуре 75°C. Медленно остудить заготовку		Бытовая электрическая мини-печь, приспособление для удержания платы
30	Разместить фотошаблон на плате. Засветить плату в свете ультрафиолетовой лампы в течение 30 минут. Повторить с обратной стороны		Рабочий стол, ультрафиолетовая светодиодная лента, лабораторный блок питания, фотошаблоны для 2 сторон платы
31	Смыть незатвердевшие участки маски и очистить инструмент в растворе кальцинированной соды. Промыть плату чистой водой		Рабочий стол, ёмкость с раствором кальцинированной соды, кисть

32	Греть плату в печи в течение 2 часов при температуре 200°C		Бытовая электрическая мини-печь, приспособление для удержания платы
33	Закрепить плату на столе фрезерного станка с ЧПУ при помощи саморезов и центровочных отверстий		Фрезерный станок с ЧПУ, отвёртка

Продолжение таблицы Г.1

34	Выполнить сверление отверстий		Фрезерный станок с ЧПУ, твердосплавные свёрла от 0,6 мм до 3 мм
35	Выполнить финишное фрезерование по контуру		Фрезерный станок с ЧПУ, фреза типа «кукуруза» 2,4 мм
36	Открепить заготовку от стола станка и убрать образовавшуюся стеклотекстолитовую пыль при помощи пылесоса		Фрезерный станок с ЧПУ, отвёртка, пылесос
37	Обработать плату в растворе для химического лужения меди и сплавов «жидкое олово» в течение 15 минут. Промыть плату водой		Рабочий стол, ёмкость с раствором «жидкого олова»
38	Проконтролировать качество изделия		Чертёж

## 2. Установка электронных компонентов

1	Впаять перемычки в переходные отверстия		Рабочий стол, коврик для пайки, паяльная станция (паяльник и паяльный фен), держатель для плат, флюс, припой, пинцет, вакуумный пинцет, паяльная паста, кусачки, набор отвёрток, чертёж и принципиальная схема платы
2	Припаять крупные элементы (разъёмы, клеммы, реле) в соответствии со схемой		
3	Припаять средние элементы, имеющие выводы через отверстия		
4	Припаять SMD-компоненты		
5	Отмыть плату от остатков флюса при помощи спрея. Особо сложные загрязнения удалить тканью или зубной щёткой		Рабочий стол, спрей-очиститель для плат, кусок ткани, зубная щётка

6	Загрузить прошивку в микроконтроллер при помощи программатора		Рабочий стол, компьютер, программатор USBASP
7	Проверить работу устройства		Мультиметр
3. Изготовление корпуса устройства			
1	Печатать 2 части корпуса на 3д принтере		3д принтер, пластиковая нить для печати

Продолжение таблицы Г.1

2	Удалить поддержки, дефекты печати при помощи кусачек и модельного ножа		Рабочий стол, кусачки, модельный нож
3	Установить толкателя кнопки, при наличии такового		Рабочий стол, пинцет
4	Подогнать части корпуса при необходимости		Рабочий стол, кусачки, модельный нож, шлифовальный бруск, набор надфилей
4. Окончательная сборка			
1	Установить плату в нижнюю часть корпуса		Рабочий стол, чертёж
2	Нанести небольшое количество секундного клея на сопрягаемые части 2 частей корпуса. Вставить винты и/или гайки в предусмотренные для этого посадочные места		Рабочий стол, чертёж
3	Соединить корпус, удалить излишки клея		Рабочий стол, чертёж, бумажная салфетка
4	Проконтролировать качество изделия		Чертёж