

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Электротехники  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
В. Н. Тимофеев  
подпись инициалы, фамилия  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

**ЭЛЕКТРОПРИВОД СИСТЕМЫ ВЫРАВНИВАНИЯ ПОЛОТНА**

Руководитель	_____	<u>доцент, к.т.н.</u>	<u>А. Н. Пахомов</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>В. М. Янковой</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>А. Н. Пахомов</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Электротехники  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
В. Н. Тимофеев  
подпись инициалы, фамилия  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме бакалаврской работы

Студенту Янковому Владиславу Максимовичу

фамилия, имя, отчество

Группа ФЭ17-06Б Направление (специальность) 13.03.02.10

номер

код

Электроэнергетика и электротехника (Электропривод и автоматика)

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Электропривод системы  
выравнивания полотна

Утверждена приказом по университету № 45/с от 12.01.2021

Руководитель ВКР А. Н. Пахомов, к.т.н., доцент кафедры «Электротехника»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: Электропривод системы выравнивания  
полотна: червячный мотор-редуктор, ультразвуковой датчик US-400S, блок  
питания, ШИМ-регулятор, DC-DC конвертер.

Перечень разделов ВКР: 1. Введение. 2. Описание технологического  
процесса. 3. Выбор электрооборудования электропривода системы  
выравнивания полотна. 4. Схемы электропривода (электрическая  
принципиальная, автоматизации, компоновки электрического шкафа).  
5. Этапы сборки. 6. Заключение. 7. Список использованных источников.

Перечень графического материала: 1. Общая схема управления. 2. Схема  
автоматизации. 3. Схема внутренних соединений шкафа. 4. Схема внешних  
соединений шкафа. 5. Механические части.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_   
подпись

А. Н. Пахомов

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_   
подпись

В. М. Янковой

инициалы и фамилия студента

13 мая 2021 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа «Электропривод системы выравнивания полотна» содержит 37 страниц текстового документа, 25 иллюстраций, 4 листа графического материала, 14 использованных источников, 6 таблиц.

### ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ.

Объект проекта – печатная машина. Основной задачей проекта является выбор электрооборудования и автоматизация технологического процесса выравнивания полотна

Цели проекта:

- Выбрать электрическое оборудование для реализации системы управления;
- Разработать принципиальную электрическую схему системы;
- Разработать схему автоматизации технологического процесса.
- Провести монтаж оборудования и наладку системы равнения полотна.

В данной работе рассмотрена задача автоматизации выравнивания полотна. В проекте был рассмотрен технологический процесс и выбрано электрооборудование. Далее была разработана система управления выравнивания полотна с помощью ультразвукового датчика. Была произведена сборка монтаж и тестирование разработанной установки.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Общее описание .....	7
1.1 Общие сведения об производстве .....	7
1.2 Описание технологического процесса .....	8
1.3 Печатная машина на производстве .....	10
2 Описание электрического оборудования .....	11
2.1 Описание и технические характеристики червячного мотор-редуктора ...	11
2.1.1 Расчет максимальной массы переносимого предмета .....	13
2.2 Коммутационное оборудование .....	14
2.2.1 Промежуточные реле KIPPRIBOR серии SR .....	14
2.2.2 Промежуточные реле KIPPRIBOR серии MR .....	16
2.2.3 Выключатель концевой (конечный) серии AZ-7141 .....	18
2.3 Ультразвуковой датчик .....	19
2.4 Дополнительное оборудование .....	23
2.4.1 Блок питания .....	23
2.4.2 ШИМ-регулятор .....	24
3 Разработка схем подключения и компоновочных чертежей системы выравнивания .....	27
3.1 Принципиальная электрическая схема .....	27
3.2 Схема компоновки электрического шкафа .....	31
4 Этапы сборки и внешний вид печатной машины .....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Процесс производства рулонных материалов (бумага, пленка, ткань и др.), а также процесс печати на рулонных материалах состоит ряда технологических операций, таких как размотка, обработка (печать) и намотку. В процессе такого производства особую роль выполняет система выравнивания полотна, которая отслеживает положение материала и выполняет его корректировку в режиме реального времени без какого-либо вмешательства человека, повышая качество и эффективность производства. [1]

Целью работы является автоматизация процесса выравнивания полотна печатающей машины для повышения качества печати и надежности работы оборудования. Для выполнения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

- 1) разработать систему автоматизации технологического процесса выравнивания полотна;
- 2) выбрать оборудование для реализации разработанной системы управления;
- 3) провести монтаж оборудования и наладку системы выравнивания полотна.

## **1 Общее описание**

### **1.1 Общие сведения об производстве**

Полиграфия — обобщенное понятие как для различных направлений отрасли печатной промышленности, так и огромного многообразия полиграфической продукции, ежедневно применяемой нами в самых разных целях. С полиграфией мы сталкиваемся ежедневно: и дома, и на улице, и в офисе. Ассортимент продукции полиграфии, выпускаемой современными типографиями, невероятно широк: это листовки и буклеты, книги, журналы и газеты, плакаты и постеры, брошюры и каталоги, открытки и приглашения, упаковка, этикетки, наклейки, стикеры и даже бюллетени для выборов в государственные органы власти. Без полиграфии и полиграфической продукции в наше время невозможно существование бизнеса, к какой бы сфере он ни принадлежал.

Согласно определению, полиграфия — это процесс многократного получения изображения (его тиражирования) на запечатываемом материале путем переноса краски с какого-либо носителя. И занимаются этим процессом тиражирования печатных изделий (иначе говоря, печатью или печатанием) полиграфические предприятия — типографии.

Качество рекламной полиграфии складывается из трех составляющих – это идея, уровень дизайна и качество печати. Поэтому при правильном подходе работа над рекламным буклетом, каталогом, плакатом должна начинаться с разработки оригинальной идеи, слогана, единого стиля. После чего уже задача дизайнера — найти наиболее оптимальный и точный способ ее воплощения (будь то фотосъемка, трехмерные изображения, привлечение художника и пр.). И только на заключительном этапе осуществляется подбор типографии в соответствии с особенностями дизайна и требованиями к печати.

Непосредственно сам цикл производства печатной продукции (печати) происходит в три этапа.

- а) подготовка готового макета к печати;
- б) печать;
- в) послепечатная обработка;

Первый этап – это подготовка макета к печати: проверка готового макета, приведение макета к требованиям по изготовлению того или иного вида печатной продукции, сборка спусковых полос (распределение особым образом полос макета для последующей послепечатной обработки) и т.д.

Второй этап – собственно сам процесс печати. Как ни странно, но в большинстве случаев этот этап занимает меньше всего времени во всем цикле производства и обуславливается в основном техническими характеристиками и состоянием печатной машины.

Ну и последний, третий, этап производства печатной продукции – послепечатная обработка. Сюда входит множество разновидностей процессов для придания нужного внешнего вида печатной продукции. Обрезка печатного листа, фальцовка (для буклетов), брошюровка (для каталогов, журналов), переплетные работы (папки, дипломы, ежедневники), высечка и др. Качественная послепечатная обработка придает изделию индивидуальность, задуманную еще дизайнерами, и выделяет готовый продукт среди прочих.

Любой вид печатной продукции нуждается в послепечатной обработке, как минимум в резке. В некоторых случаях время, необходимое на послепечатную обработку при изготовлении данного изделия, может в несколько раз превышать время, затраченное на печать и даже на разработку и подготовку макета [11].

## **1.2 Описание технологического процесса**

За процессом выравнивания полотна печатной машины положение рулона ранее следил оператор. Он замечал небольшое отклонение и вручную смещал рулон вращением вала, на котором находился рулон. Оператор мог допускать ошибки при выравнивании. Для уменьшения риска подобных ситуации разрабатывается система выравнивания полотна.



Для автоматизации процесса выравнивания была разработана система с применением современных устройств. Данная система подразумевала два типа управления, т.е. ручное и автоматическое. Каждый вид управления будет осуществлен различными коммутирующими устройствами, такими как реле и концевые выключатели. Коммутирующие устройства обеспечат защиту от большого смещения.

Положение полотна контролировалось бы ультразвуковым датчиком. Вместо ручного вращения вала с рулоном будет использован червячный мотор-редуктор, обеспечивающий плавное вращение и перемещение рулона. Скорость вращения мотор-редуктора изменялась ШИМ-регулятором.

Схема автоматизации показана на рисунке 1. Контроль технологического процесса осуществляется при помощи ультразвукового датчика, закрепленного на Г-образной металлоконструкции, установленной на печатной машине.

Управление осуществляется при помощи ШИМ-регулятора, у которого есть входы – Power (+, -), Motor (M1, M2), GND, 0 – 5V, 5V и разъем Switch.

От разъема Motor питается червячный мотор-редуктор SR1.

К GND, 0 – 5V, 5V подключен потенциометр, регулирующий скорость вращения мотора-редуктора.

К входам Power (+, -) подключен датчик ZY1 через катушки реле NS1 и NS2, нормально-замкнутые контакты реле NS1 и NS2 через переключатель NS1, а концевые выключатели ZS1 и ZS2 и катушки реле NS3 и NS4 через переключатели H1 и H2.

К разъему Switch подключены пары нормально-разомкнутых контактов NS3 и NS4, срабатывание которых меняет направление вращения SR1.

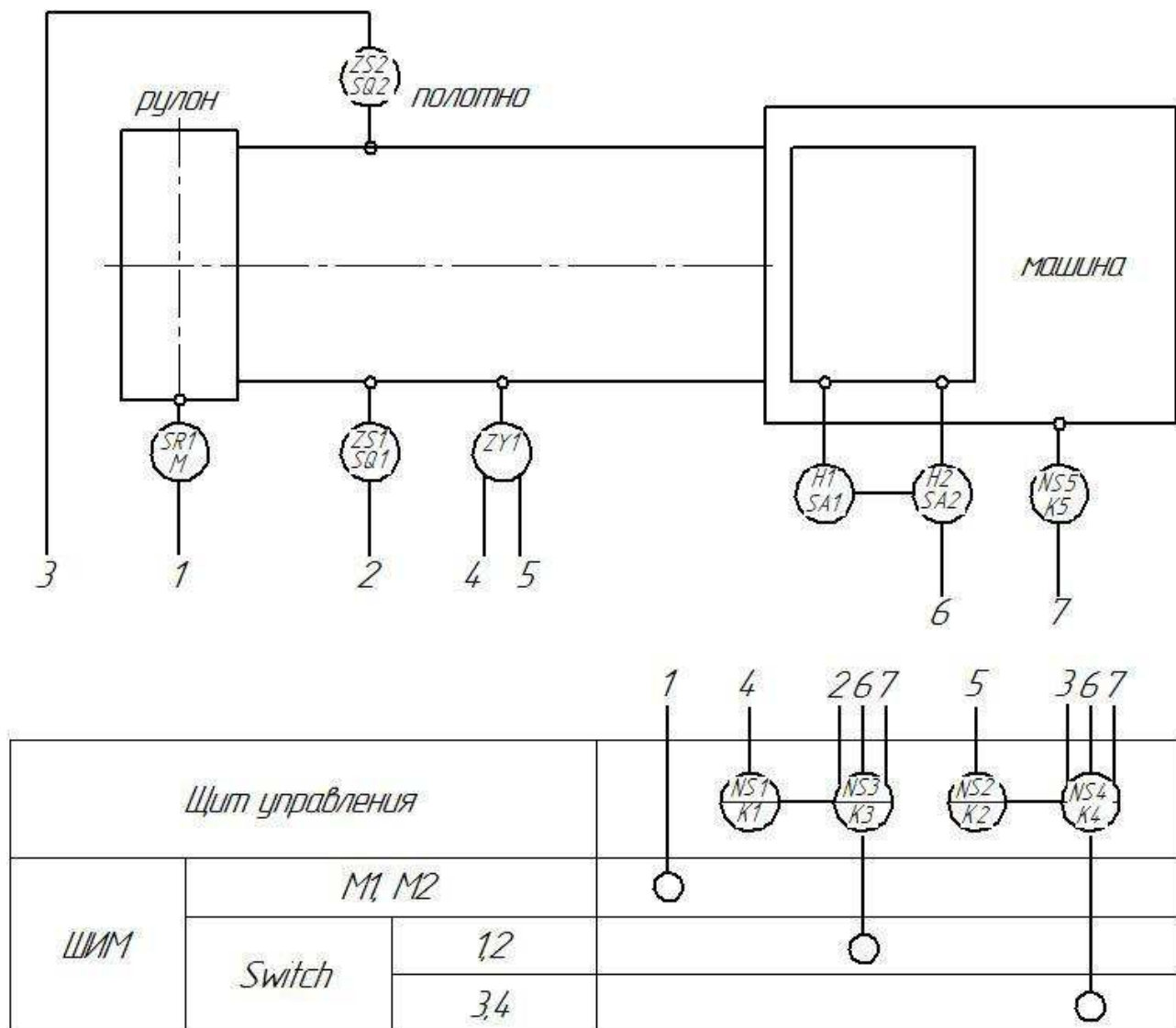


Рисунок 1 – Схема автоматизации системы выравнивания

### 1.3 Печатная машина на производстве

Описание печатного оборудования DIDDE-GLASER CONSERVER PRESS, 1988 [14].

Таблица 1 – Описание DIDDE-GLASER CONSERVER PRESS

Номер	6933
Производитель	DIDDE-GLASER
Тип	экономная печать
Год	1988
Возможности	4-х цветная

4-х цветная печатная машина производителя DIDDE. DIDDE-GLASER CONSERVER PRESS является печатным станком. Оборудован листорезальной машиной. Максимальный размер печати 8 дюймов x 10 дюймов [13].



Рисунок 2 – Печатная машина DIDDE CONSERVER PRESS

## **2 Описание электрического оборудования**

### **2.1 Описание и технические характеристики червячного мотор-редуктора**

Устройство редуктора червячного типа включает два основных элемента образующих зацепление — винт или «червяк» и червячное колесо. Последнее является разновидностью косозубого колеса. В данной паре винт является ведущим звеном, колесо — ведомым. Одним из основных отличий от цилиндрического и прочих типов редукторов является большая плоскость зацепления и высокое передаточное отношение, что приводит к

самоторможению устройства. В зависимости от того, в каких механизмах применяется данное устройство, данная конструктивная особенность может быть как достоинством, так и недостатком.

Теперь о том, как работает червячный редуктор. Передаваемое на входной вал с червяком крутящее усилие приводит к вращению винта. В свою очередь винт толкает зубчатое колесо, обеспечивая передачу крутящего момента. В отличие от цилиндрических и конических передач, данная связка работает со значительным уменьшением угловой скорости (передаточное отношение до 110 на одной ступени) и увеличением крутящего усилия.

При одинаковом принципе работы червячных редукторов они значительно различаются по передаточному числу и геометрии зацепления. Оси винта и колеса расположены под прямым углом относительно друг друга [3].



Рисунок 3 – Внутренние части червячного мотор-редуктора с приводным валом

В таблице 2 указаны технические параметры червячного мотор-редуктора, представленного на рис. 3.

Таблица 2 - Технические параметры червячного мотор-редуктора

Напряжение, В	24
Передаточное число	200
Ток холостого хода, мА	≤200
Скорость холостого хода, об/мин	40
Момент нагрузки, Н·м	3,2
Максимальная скорость, об/мин	30
Ток нагрузки, А	≤1,6
Максимальный момент, Н·м	7
Пусковой ток, А	4,4

### 2.1.1 Расчет максимальной массы переносимого предмета

Крутящий момент, требуемый для создания тягового усилия [4].

$$T = \frac{F_a \cdot P_h}{2\pi \cdot \eta} \quad (2.1.1.1)$$

где  $T = 7$  – максимальный приводной крутящий момент, Н · м;

$P_h = 0,00125$  – шаг резьбы, м;

$\eta = 0,4$  – КПД червячной передачи;

$F_a$  – сопротивление трению на поверхности направляющей, Н;

$$F_a = \mu \cdot m \cdot g \quad (2.1.1.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения поверхности направляющей;

$g = 9,81$  – ускорения свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$m$  – масса переносимого предмета, кг.

Подставив (2) в (1), получим (3)

$$T = \frac{F_a \cdot P_h}{2\pi \cdot \eta} = \frac{\mu \cdot m \cdot g \cdot P_h}{2\pi \cdot \eta} \quad (2.1.1.3)$$

Масса переносимого предмета

$$m = \frac{2\pi \cdot \eta \cdot T}{g \cdot \mu \cdot P_h} = \frac{2\pi \cdot 7 \cdot 0,4}{9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,00125} = 2807,857 \text{ кг}$$

## 2.2 Коммутационное оборудование

### 2.2.1 Промежуточные реле KIPPRIBOR серии SR

Промежуточные реле KIPPRIBOR серии SR являются 1-контактными и предназначены для коммутации постоянного/переменного напряжения в цепях управления и сигнализации. Оптимально подходят для организации релейных логических схем, а также развязки и согласования управляющих выходов приборов (терморегуляторов ТРМ, контроллеров ПЛК, датчиков с дискретными выходами и т.д.) с коммутируемой ими нагрузкой.

Основным достоинством промежуточных реле серии SR является оптимальное сочетание эксплуатационных параметров, таких как миниатюрность корпуса и высокая коммутационная способность контактов [5].



Рисунок 4 – Внешний вид промежуточного реле серии SR

Таблица 3 – Технические характеристики реле SR-203.D

Электрические характеристики контактов	
Номинальные ток и напряжение	6 А при 250 VAC / 30 VDC
Начальное сопротивление	не более 100 МОм
Материал	серебряный сплав (AgNi)
Электрический ресурс	не менее 10 <sup>4</sup>
Механический ресурс (при 300 вкл./мин)	не менее 10 <sup>7</sup>
Сопротивление пробоя между группами контактов	не менее 1000 В ~ в течение 1 минуты
Электротехнические характеристики катушки	
	Постоянный ток (DC)
Номинальное напряжение питания Uном.	24 VDC
Напряжение включения (при 23 °С)	не менее 0,75 Uном.
Напряжение выключения (при 23 °С)	не более 0,05 Uном.
Мощность	0,17 Вт
Сопротивление пробоя между катушкой и контактами	не менее 4000 В ~ в течение 1 мин.

Ширина реле серии SR, установленного в монтажную колодку PUF-011 не превышает 6,3 мм, а коммутационная способность контактов при этом составляет 6 А (по АС-1). Такое сочетание эксплуатационных параметров позволяет заменить промежуточными реле KIPPRIBOR серии SR большинство общепромышленных реле и реле в компактном корпусе, значительно сэкономив при этом пространство для монтажа.

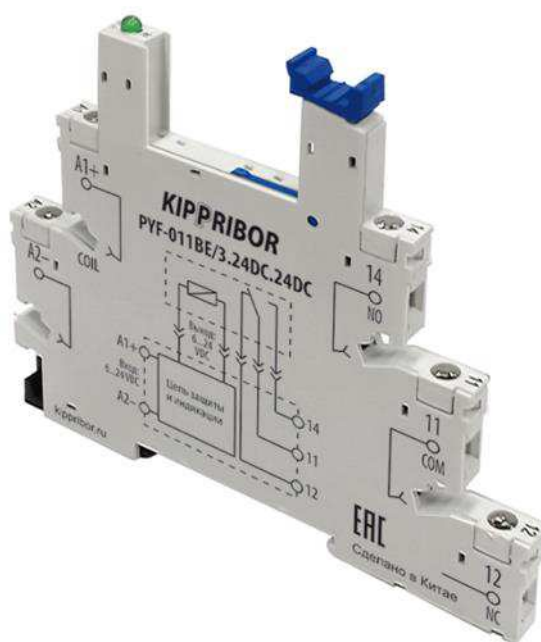


Рисунок 5 – Внешний вид 3-ярусной колодки с винтовыми клеммами PUF-011BE/3.24DC.24DC для реле SR-203.D

### 2.2.2 Промежуточные реле KIPPRIBOR серии MR

Промежуточные реле KIPPRIBOR серии MR являются 2-контактными. Используются в качестве развязывающего (согласующего) элемента между управляющим устройством (терморегулятором, контроллером и пр.) и коммутационным элементом исполнительного устройства, а также для построения схем релейной логики. Предназначены также для коммутации и переключения электрических цепей управления постоянного и переменного тока.

Несмотря на свои миниатюрные размеры имеют достаточно мощные контакты, что позволяет использовать их взамен большинства общепромышленных реле, экономя при этом пространство при монтаже.

Монтируются как на DIN-рейку стандарта 35 мм при помощи монтажных колодок, так и на печатную плату методом пайки. Исполнение «ножек» реле серии MR под пайку позволяет применять их для замены вышедших из строя



выходных реле различных приборов (терморегуляторов, контроллеров, программируемых реле и пр.) [6].



Рисунок 6 – Внешний вид промежуточного реле серии MR



Рисунок 7 - Монтажные колодки 2-контактных промежуточных реле серии MR

Таблица 4 - Технические характеристики реле MR-203.D

Электрические характеристики контактов	
Характеристика	Постоянный ток (DC)
Номинальный ток (для категорий эксплуатации AC-1, DC-1)	5 А при 30 В
Минимальная коммутируемая нагрузка	1000 мВт (10 В/10 мА)
Начальное сопротивление	не более 100 мОм
Материал	серебряный сплав (AgSnO <sub>2</sub> )
Электрический ресурс	не менее 10 <sup>5</sup>

Продолжение табл. 4

Механический ресурс (при 300 вкл./мин)	не менее $10^7$
Сопротивление пробоя между контактами и катушкой	не менее 1000 В ~ при токе утечки 1 мА в течение 1 минуты
Электрические характеристики катушки	
Характеристика	Постоянный ток (DC)
Номинальное напряжение питания $U_{ном}$	12/24 В*
Напряжение включения	не менее $0,75 U_{ном}$ (при 25 °С)
Напряжение выключения	не более $0,10 U_{ном}$ (при 25 °С)
Предельное напряжение питания	$1,10 U_{ном}$ (при 25 °С)
Мощность	0,53 Вт
Сопротивление пробоя между контактами и катушкой	не менее 1500 В – при токе утечки 1 мА в течение 1 минуты

### 2.2.3 Выключатель концевой (конечный) серии AZ-7141

Выключатель концевой имеет привод короткий рычаг с роликом и срабатывает при нажатии. Коммутирует цепи до 10 ампер 250 вольт переменного тока и 0,4 ампер 155 вольт постоянного тока.

Корпус высокопрочный, малогабаритный, пыленепроницаемый и маслостойкий (степень защиты IP64). Две пары контактов – один нормально открытый контакт (NO) и один нормально закрытый контакт (NC).

Концевые выключатели широко применяются в тяжелой, легкой и пищевой промышленности, в системах контроля, управления, автоматизации, различных машинах и механизмах, таких как упаковочные машины, конвейеры, кран-балки, краны, лебедки, лифты, двери, станки с ЧПУ, тельферы, подъемники [7].



Рисунок 8 – Выключатель концевой (конечный) серии AZ-7141

Таблица 5 – Технические характеристики концевого выключателя AZ-7141

Номинальный ток		10 А
Номинальное напряжение		~250 В
Тип контактов		1з. + 1р. (1NO + 1NC)
Скорость операция		0,5мм/с – 0,5м/с
Частота операций	механическая	120 операций/мин
	электрическая	30 операция/мин
Износостойкость	механическая	10 млн операция
	электрическая	200 тыс операций
Сопротивление изоляции		100 Мом (при 500VDC)
Сопротивление контактов, не более		15 мОм

### 2.3 Ультразвуковой датчик

Детектор состоит из одной или нескольких пар источников и приемников излучения, расположенных напротив друг друга по разные стороны от плоскости проводки полотна. Количество излучения, которое попадает из источника на приемник, зависит от степени перекрытия луча полотном и может колебаться от максимального (полотно не перекрывает луч) до нулевого (полотно полностью перекрыло луч). Обычно за нулевое принимается такое положение полотна, при котором на приемник поступает половина от максимально возможного количества энергии излучения, т. е. край полотна делит луч пополам.

При отклонении энергии поступившего на приемник излучения от заданной величины система равнения полотна вырабатывает управляющий

импульс для исполнительных механизмов, которые выполняют коррекцию бокового положения ленты.

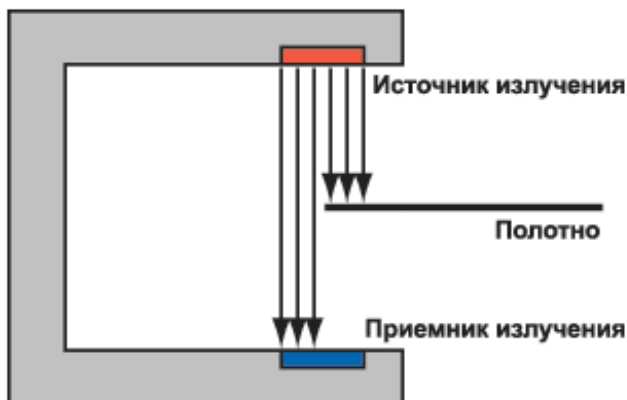


Рисунок 9 – Ультразвуковой датчик первого поколения

На ультразвуковые детекторы первого поколения воздействовали колебания температуры, частицы пыли и грязи.

Появились усовершенствованные ультразвуковые детекторы, не чувствительные к температуре воздуха и отклонению полотна от плоскостности. В этих ультразвуковых детекторах применяются две расположенные рядом пары «источник/приемник излучения».

Луч в первой паре полотном не перекрывается, и она служит для определения максимального количества энергии, которое может быть передано от источника приемнику в данных условиях (при данной температуре и влажности). Луч во второй паре частично перекрывается краем полотна. Определение положения края полотна производится на основе сопоставления информации от обеих пар [1].

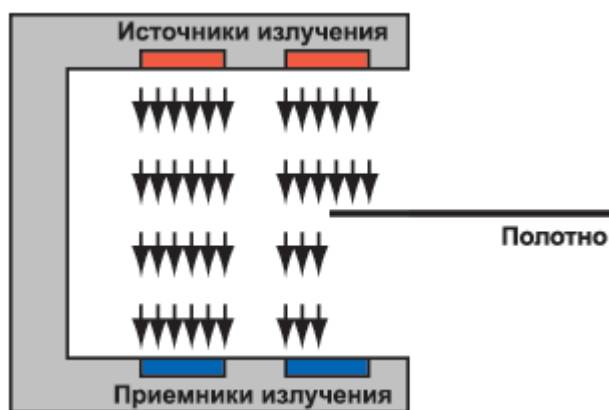


Рисунок 10 – Ультразвуковой датчик второго поколения

Для того чтобы избавиться от помех, вызванных отраженным от полотна излучением, детекторы нового поколения работают в импульсном режиме. При этом приемник воспринимает ультразвуковой импульс в течение очень малого времени, достаточного лишь для того, чтобы излучение дошло по кратчайшему пути от источника к приемнику. Отраженное полотном излучение проделывает больший путь и потому приходит с запозданием относительно основного импульса. Это позволяет эффективно отфильтровывать шумы. В ультразвуковых датчиках третьего поколения применяется принцип динамического слежения за положением края полотна [1].

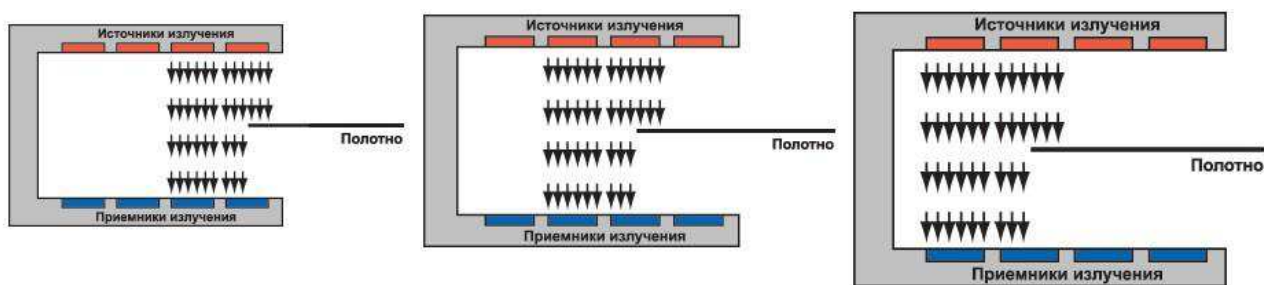


Рисунок 11 – Ультразвуковой датчик третьего поколения

Ультразвуковые датчики способны одновременно обеспечить бесконтактное обнаружение объекта и измерить расстояние от датчика до

обнаруженного объекта. Для измерения расстояния используются высокочастотные звуковые импульсы, испускаемые датчиком. Эти импульсы излучаются в виде конического пучка и при встрече с какой-либо поверхностью отражаются от неё. Принцип работы датчиков основан на измерении времени прохождения сигнала. Это позволяет обнаруживать объекты и измерять расстояние от датчика до них [8].



Рисунок 12 – Внешний вид ультразвукового датчика US-400S

Таблица 6 – Технические параметры

Способ отслеживания	Отслеживание края полотна
Напряжение	Постоянный ток 12 В
Выходной сигнал	0-5 В или NPN, двухканальный переключатель
Диапазон обнаружения	6 мм ( $\pm 3$ мм)
Метод обнаружения	Ультразвуковое излучение
Точность обнаружения	$\pm 0,05$ мм

## 2.4 Дополнительное оборудование

### 2.4.1 Блок питания

Универсальный блок питания, позволяющий получить напряжение постоянного тока 24 В, может использоваться во всех областях, где есть потребность в стабилизации напряжения. Данный блок питания средней мощности (240 Вт) также подойдет для использования в процессе ремонта мобильных устройств: планшетов и смартфонов, поможет обеспечить бесперебойную работу рекламных щитов, камер видеонаблюдения, дорожных знаков и других электронных приборов.

Устройство имеет перфорированный металлический корпус, защищающий его от перегрева. Также за безопасность отвечает встроенная комплексная защита от короткого замыкания и перегрузки, включающая в себя ряд предохранителей. В случае возникновения перегрева или перегрузки устройство автоматически перезагрузится и продолжит работу.

Данный блок питания подходит для работы в экстремальных условиях, например, когда рабочая температура достигает 50°C.

Устройство отличается высоким качеством и надежностью. Безопасно и удобно в использовании. Имеет долгий срок службы [9].



Рисунок 13 – Внешний вид блока питания

## 2.4.2 ШИМ-регулятор

Принцип ШИМ – широтно-импульсная модуляция заключается в изменении ширины импульса при постоянстве частоты следования импульса. Амплитуда импульсов при этом неизменна.

Широтно-импульсное регулирование находит применение там, где требуется регулировать подаваемую к нагрузке мощность. Например, в схемах управления электродвигателями постоянного тока, в импульсных преобразователях, для регулирования яркости светодиодных светильников, экранов ЖК-мониторов, дисплеев в смартфонах и планшетах и т.п.

Большинство вторичных источников питания электронных устройств в настоящее время строятся на основе импульсных преобразователей, применяется широтно-импульсная модуляция и в усилителях низкой (звуковой) частоты класса D, сварочных аппаратах, устройствах зарядки автомобильных аккумуляторов, инверторах и пр [10].



Рисунок 14 – Реверсивный ШИМ-регулятор



Широтно-импульсная модуляция применяется в технике для преобразования переменного напряжения в постоянное, с изменением его среднего значения ( $U_d$ ). Управление средним значением напряжения происходит путем изменения скважности импульсов.

Скважность – это отношение одного периода, к времени действия (длительности) импульса в нем. В англоязычной литературе часто встречается понятие коэффициент заполнения, который обратно пропорционален скважности. Формула скважности:

$$S = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{D}, \quad (2.4.2.1)$$

где  $T$  – длительность периода, с;

$t$  – время (длительность) одного импульса, с;

$D$  – коэффициент заполнения.

Несмотря на то, что скважность и коэффициент заполнения могут использоваться в одинаковом контексте, физический смысл их отличается. Эти величины безразмерны. Коэффициент заполнения обычно отображают в процентах (%). [12].

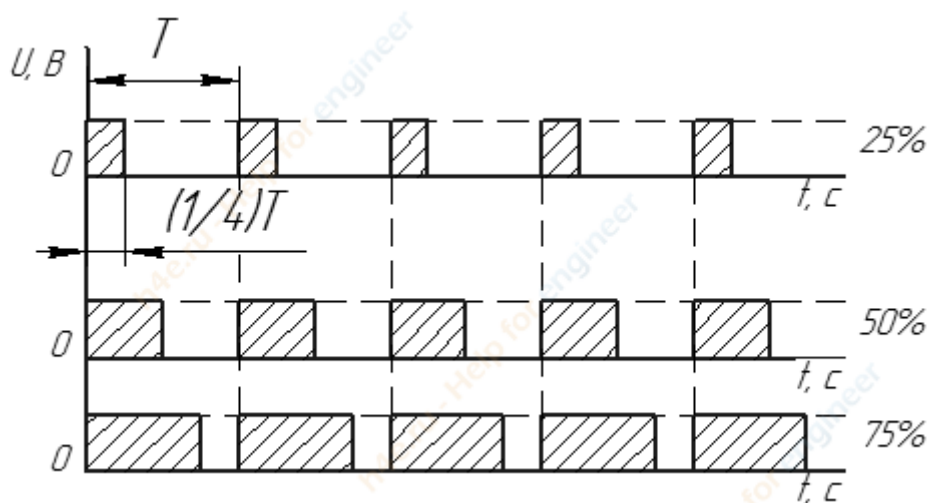


Рисунок 15 – Скважность импульсов

На приведенном выше рисунке изображены импульсы, которые возникают с определенной периодичностью. Длительность импульса равна  $\frac{1}{4}$  периода  $T$ , это означает, что коэффициент заполнения равен 25%, а скважность – 4. Специфическое название имеется у набора импульсов с коэффициентом заполнения – 50%, такой сигнал называется меандр.

Существуют цифровые и аналоговые ШИМ. Принцип их работы остается одинаковым вне зависимости от исполнения и заключается в сравнении двух видов сигналов:

$U_{оп}$  – опорное (пилообразное, треугольное напряжение, В);

$U_{упр}$  – выходное постоянное напряжение, В.

Сигналы поступают на компаратор, где они сравниваются, а при их пересечении возникает / исчезает (или становится отрицательным) сигнал на выходе ШИМ.

Выходное напряжение  $U_{вых}$  ШИМ имеет вид импульсов, изменяя их длительность, мы регулируем среднее значение напряжения ( $U_d$ ) на выходе ШИМ:

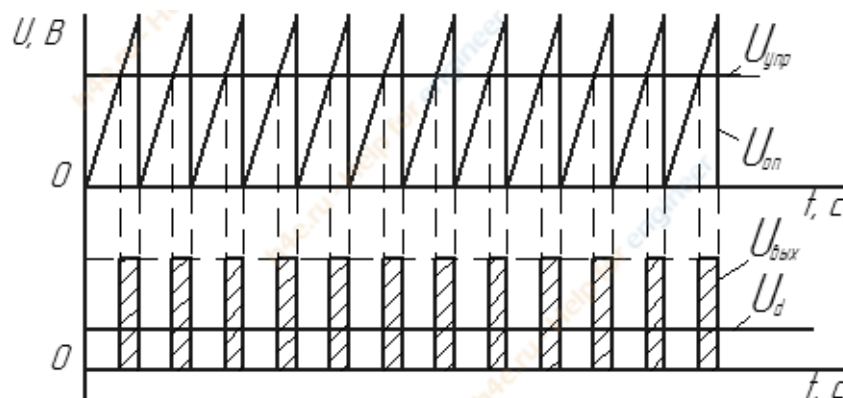


Рисунок 16 – Скважность сигнала при однополярной ШИМ

Однополярная модуляция означает, что происходит формирование импульсов только положительной величины и имеет место нулевое значение напряжения. Осуществить такую модуляцию в некоторых схемах невозможно,

преимущество однополярной модуляции: малое амплитудное значение высокочастотных гармоник.

Преимущество использования ШИМ - это легкость изменения величины напряжения при минимальных потерях. Конечно же, можно, применять делитель напряжения, но его работа основана на применении резисторов, а на них происходит рассеивание энергии, что в свою очередь вызывает нагрев и неэкономичность (преобразование электрической энергии в тепловую).

Работа широтно-импульсного преобразователя реализуется с помощью полупроводниковых приборов – транзисторов. Максимальные потери на транзисторах бывают при их полупоткрытом состоянии. Поэтому используют два крайних положения: полностью открыты или закрыты, тогда потери минимальны. Частота срабатывания транзисторов очень большая, то есть переходные состояния имеют мало времени и потери, фактически, сводятся к нулю [12].

### **3 Разработка схем подключения и компоновочных чертежей системы выравнивания**

#### **3.1 Принципиальная электрическая схема**

Принцип работы электрической схемы, показанной на рисунке 17:

Для питания системы управления используется блок питания БП на 24 В, который подключается к переменному напряжению сети  $U_c = 220$  В. К блоку питания подключается ШИМ-регулятор, реле К3 и К4. Ультразвуковой датчик на 12 В питается от блока питания через понижающий DC-DC конвертер.

Потенциометр R регулирует скорость вращения приводного вала мотор-редуктора.

Реле К5 находится внутри печатной машины и необходимо для разрешения на работу системы управления.

Двухпозиционный переключатель SA1 отвечает за выбор режима управления, т.е. автоматический или ручной. Трехпозиционный переключатель SA2 отвечает за ручное управление. Положение «1» - вращение мотор-редуктора, например, вправо, положение «2» - влево и положение «0» - нейтральное положение в случае нормального положения полотна.

Автоматическое управление отслеживается датчиком, но если датчик вышел из строя, и чтобы машина не проставила, меняем режим работы на ручной и оператор берет управление

При автоматическом выравнивании в случае отклонения края полотна, например, вправо, срабатывает катушка реле K1, которая подключена к соответствующему выходу датчика. Это приводит к замыканию нормально-разомкнутого контакта K1. Замыкание нормально-разомкнутого контакта K1 приводит к появлению напряжения на катушке реле K3 при условии, что полотно не находится в крайнем положении (концевой выключатель SQ1 не сработал). При срабатывании реле K3 замыкается его пара нормально-разомкнутых контактов на разьеме Switch ШИМ-регулятора, обеспечивающих работу мотор-редуктора в направлении, соответствующему движению полотна в сторону обратную смещению для обеспечения выравнивания полотна.

При смещении полотна в противоположную сторону срабатывают K2, SQ2 и K4.

Реле K1 и K2 являются 1-контактными и срабатывают при смещении полотна вправо или влево, а 2-контактные K3 и K4 отвечают за направление вращения мотор-редуктора вправо или влево при смещении полотна.

В случае ручного управления, переключатель SA1 замкнут в положении «руч», оператор отслеживает отклонение полотна влево или вправо переводит переключатель SA2 в положение «1» или «2».

Полотно начало сдвигаться, например, вправо, оператор это замечает и переводит SA2 в положение «2» подключается реле K3 при нормально-замкнутом концевой выключатель SQ1.

При срабатывании реле К3 замыкается его пара нормально-разомкнутых контактов на разъеме Switch ШИМ-регулятора, обеспечивающих работу мотор-редуктора в направлении, соответствующему движению полотна в сторону обратную смещению для обеспечения выравнивания полотна.

Если SA2 будет переведен в положение «1», то аналогично сработает К4 при нормально-замкнутом SQ2.

При замкнутом контакте «0» SA2 – нейтральное положение в случае нормального положения полотна.

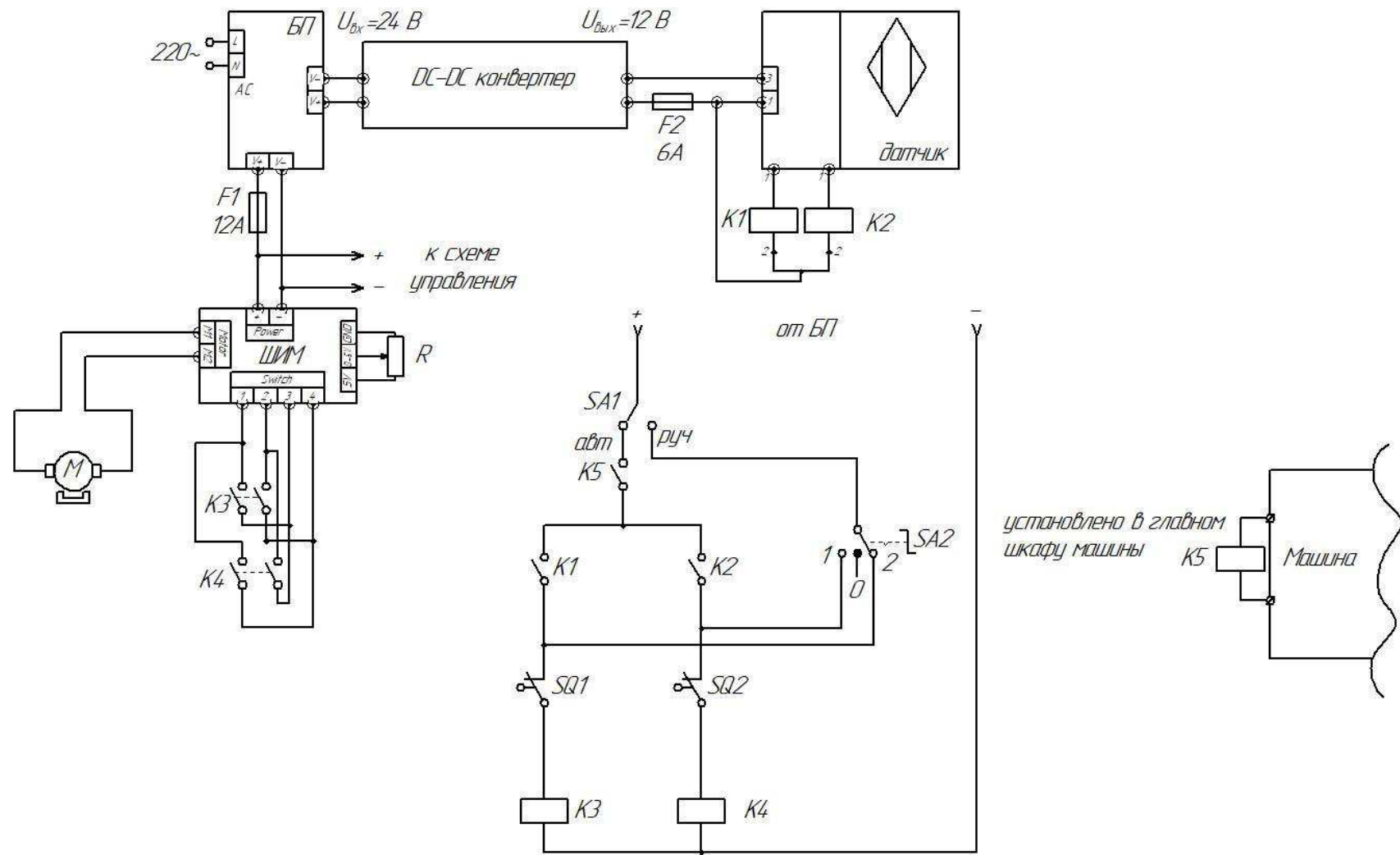


Рисунок 17 – Принципиальная электрическая схема

### 3.2 Схема компоновки электрического шкафа

Для наглядности внешнего вида электрического шкафа и примерного расположения некоторых элементов системы управления был выполнен эскизный чертеж общего вида шкафа, представленного на рисунке 18, и схемы внешних и внутренних соединений шкафа, представленных на рисунках 19 и 20, соответственно.

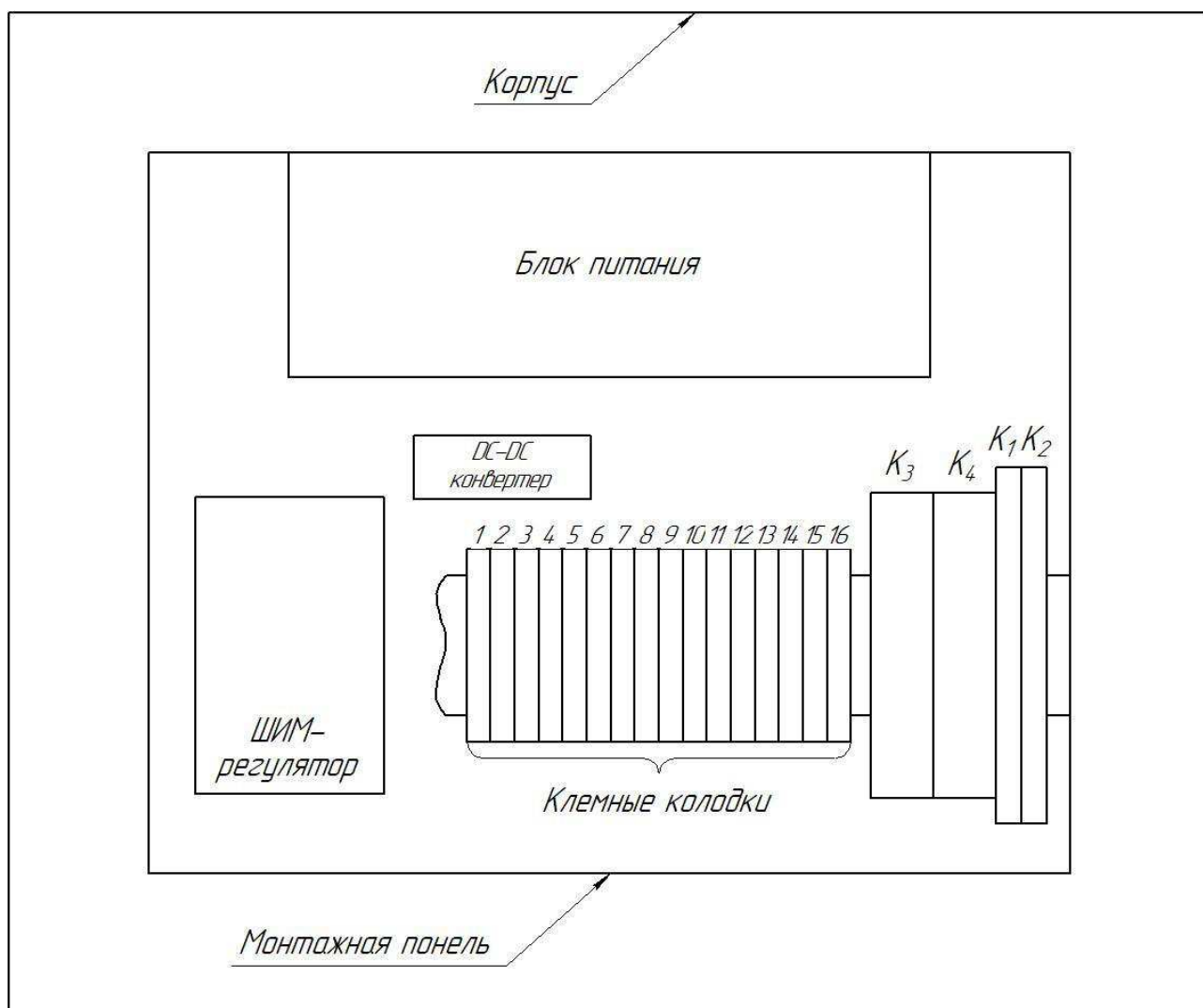


Рисунок 18 – Эскизный чертеж общего вида шкафа

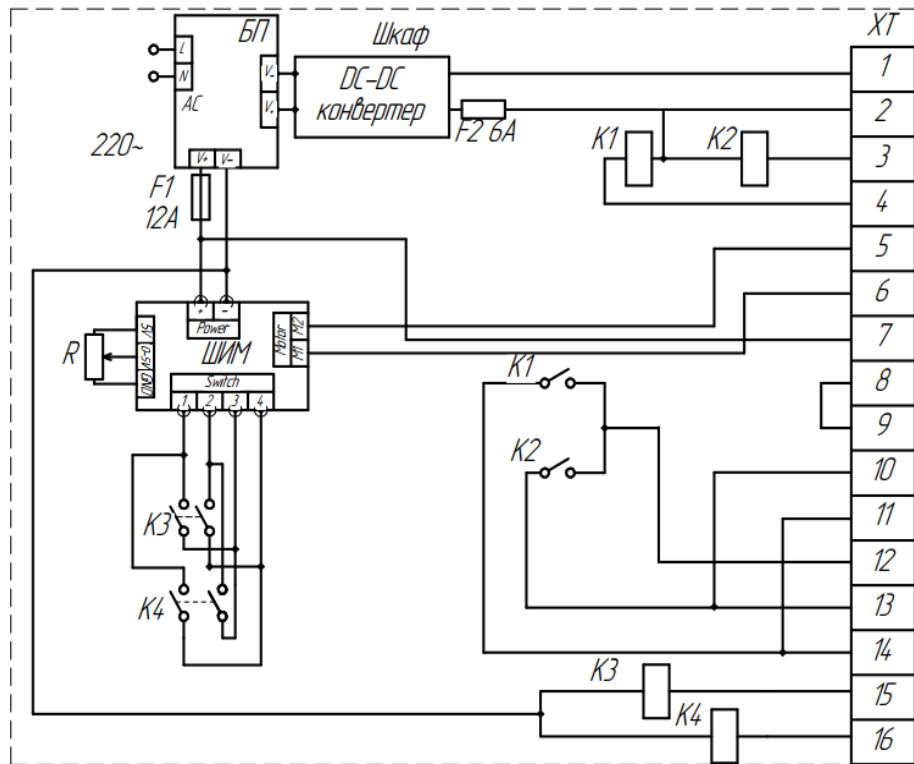


Рисунок 19 – Схема внутренних соединений

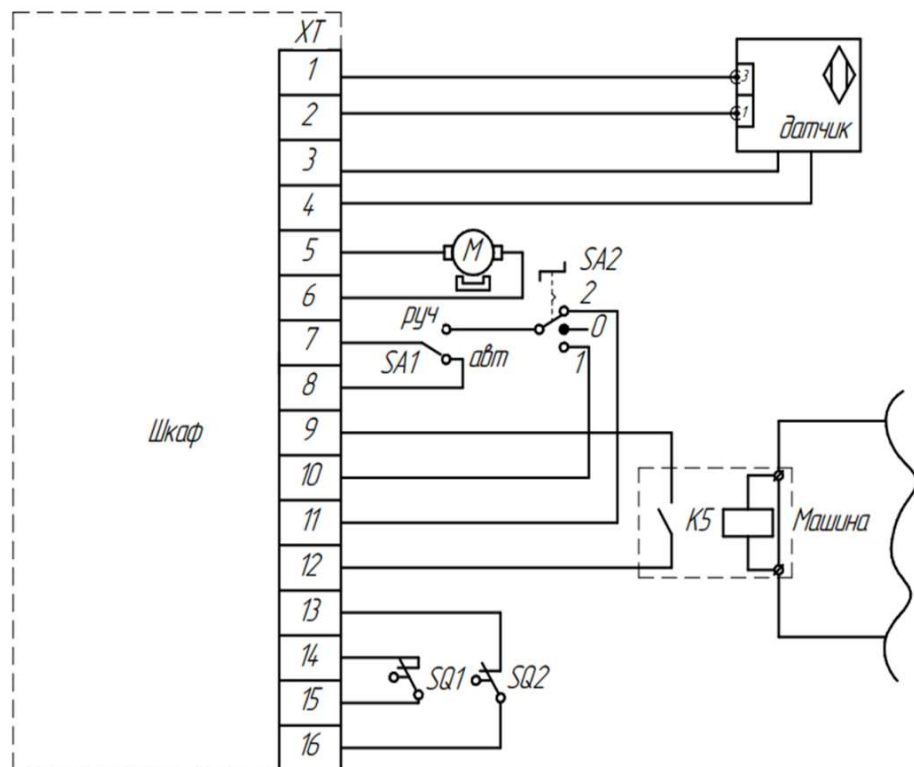


Рисунок 20 – Схема внешних соединений



#### 4 Этапы сборки и внешний вид печатной машины

В начале сборки системы выравнивания была выбор места монтирования (рис. 21) и сборка электрического шкафа (рис. 22). Было выбрано предварительное расположение внутренних элементов. Далее на монтажной панели шкафа были размечены места под DIN-рейку и блок питания, просверлены отверстия для крепления DIN-рейки и блок питания и непосредственно установка всех элементов на свои места.

Следующим этапом сборки были монтажные работы механических частей, чертежи которых представлены на листах графической части. Сперва на корпус машины установили корпус системы выравнивания (рис. 23), затем в корпус был установлен мотор-редуктор (рис. 24).

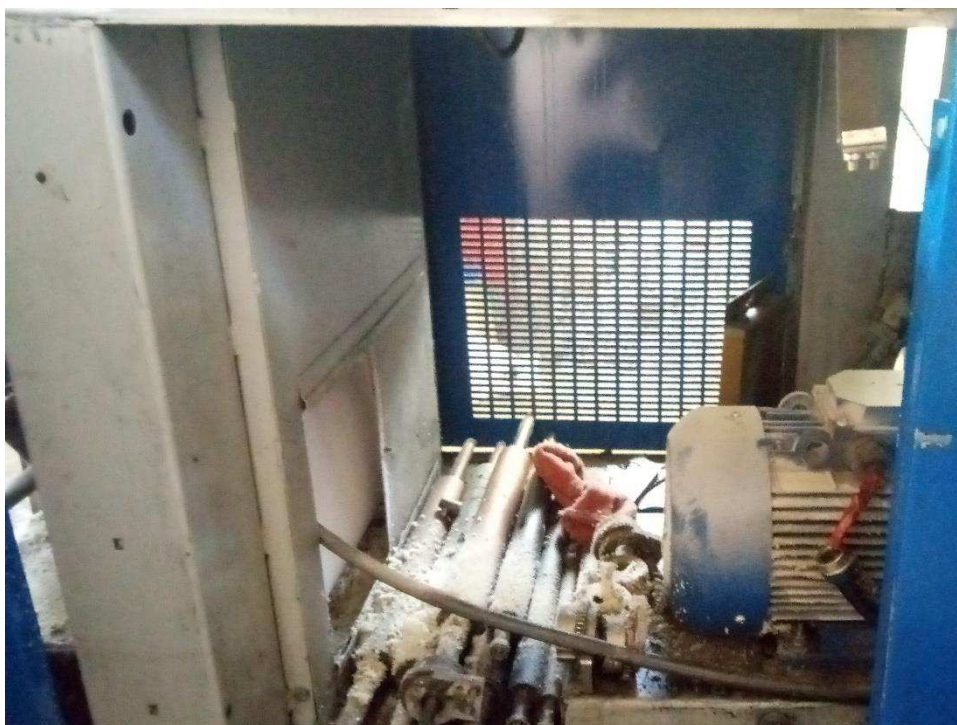


Рисунок 21 – Место для монтирования шкафа



Рисунок 22 – Сборка электрического шкафа



Рисунок 23 – Монтаж корпуса



Рисунок 24 – Монтаж корпуса с мотор-редуктором

Общий 3Д – вид системы выравнивания представлен на рисунке 25.

Приводной вал червячного мотор-редуктора вращается. Это вращение вызывает перемещение гайки по приводному валу. Перемещение гайки сдвигает

ползун (см. лист 3 графической части), который соединен с валом, на котором находится рулон бумаги. Перемещение ползуна вызывает смещение вала с рулоном бумаги в одну из сторон. Полированный вал разделен на 2 части и служит дополнительной опорой для ползуна. К корпусу (см. листы 1 и 2 графической части) части вала крепится через держатели вала, а к ползуну – через шариковые втулки. Обе части корпуса соединены между собой стяжками (см. лист 4 графической части)

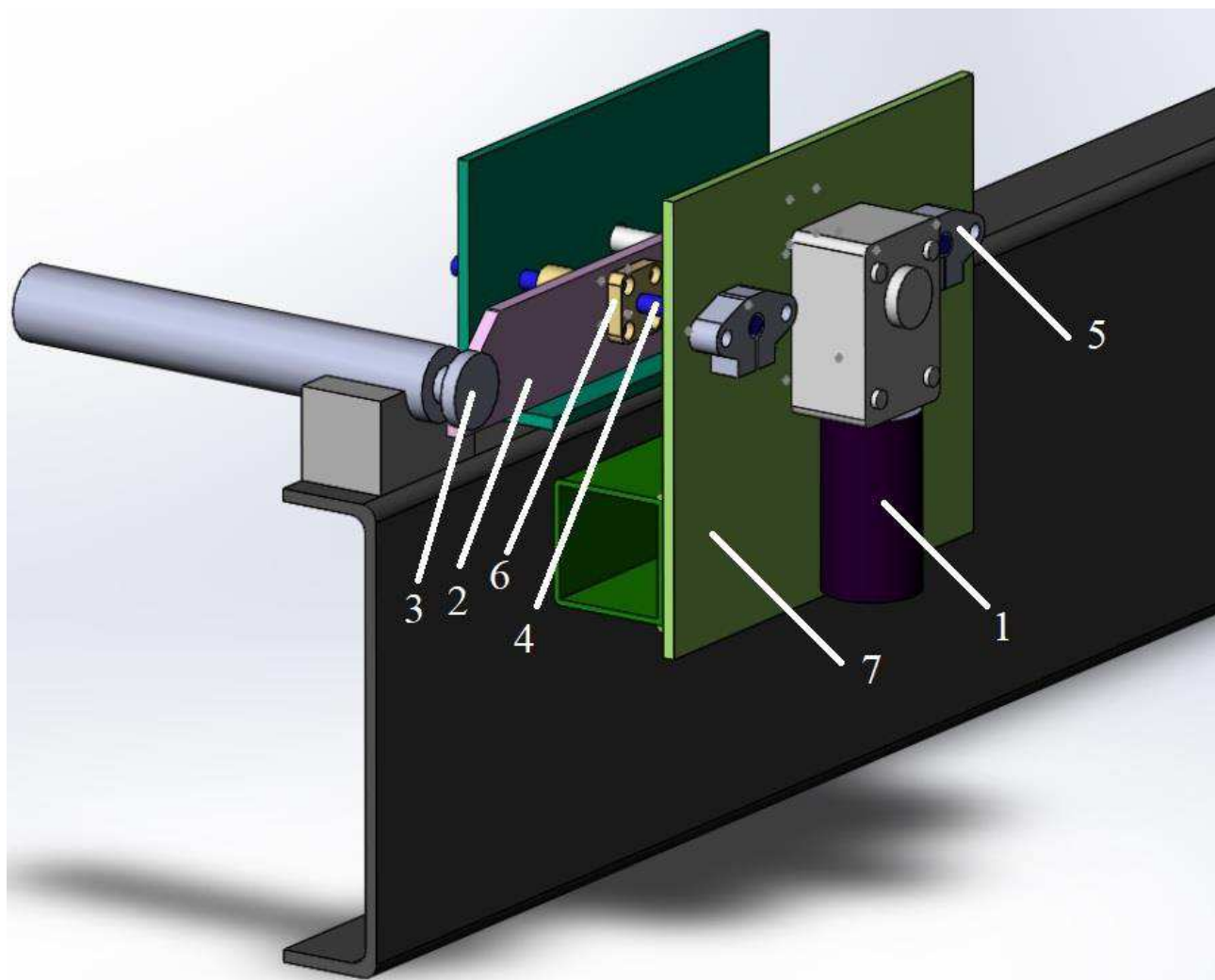


Рисунок 25 – 3Д вид модели

Обозначение элементов модели: 1 – мотор-редуктор, 2 – ползун, 3 – вал, на котором находится рулон бумаги, 4 – полированный вал, 5 – держатели вала, 6 – шариковые втулки, 7 – корпус.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система автоматизации выравнивания полотна использует в своем составе ультразвуковой датчик сканирования по стороне/линии, червячный мотор-редуктор, преобразователь с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения для регулирования скорости и направления вращения двигателя и направляющий механизм. Датчик содержит две пары источников и приемников излучения, расположенных напротив друг друга по разные стороны от плоскости полотна. Луч в первой паре полотном не перекрывается и служит для определения максимального количества энергии, передаваемой от источника к приемнику при данной температуре и влажности. Луч во второй паре частично перекрывается краем полотна. Определение положения края полотна производится на основе сопоставления информации от обеих пар. Для исключения помех, вызванных отраженным от полотна излучением, детекторы нового поколения работают в импульсном режиме [1].

Датчик считывает положение края полотна, находит величину отклонения между фактическим положением и заданным положением и посылает сигнал на систему управления привода. Согласно этому сигналу, электропривод по направляющему механизму перемещает материал в требуемое положение.

Благодаря использованию современного оборудования, система выравнивания края полотна характеризуется быстрой реакцией на возникающие отклонения, высокой точностью и помехозащищенностью, длительным сроком службы и другими преимуществами [2].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Контроль натяжения и положения полотна в рулонных машинах. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://compuart.ru/article/18808>.
2. Черепанова, Д. И. Датчик края полотна для устройства натяжения или выравнивания / Д. И. Черепанова // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник» / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Урал. отд-ние секции наук о лесе Рос. Акад. естеств. наук, Урал. лесной технопарк ; ред. С. В. Залесов [и др.]. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. – Ч. 1. – С. 365-368.
3. Устройство червячного мотор редуктора | Компания «Ф и Ф» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fif-group.ru/article/rabota-chervjachnogo-reduktora/>
4. Особенности шарико-винтовой передачи [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://tech.thk.com/ru/products/pdf/ru\\_b15\\_006.pdf](https://tech.thk.com/ru/products/pdf/ru_b15_006.pdf)
5. Промежуточные реле KIPPRIBOR серии SR интерфейсные в ультратонком корпусе (1-контактные) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://owen.ru/product/interfejsnie\\_promezhutochnie\\_rele\\_kipprigor](https://owen.ru/product/interfejsnie_promezhutochnie_rele_kipprigor)
6. Промежуточные реле KIPPRIBOR серии MR в компактном корпусе (2-контактные) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://owen.ru/product/promezhutochnie\\_rele\\_kipprigor\\_mr](https://owen.ru/product/promezhutochnie_rele_kipprigor_mr)
7. Каталог товаров [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kulibin.su/catalog/pereklyuchateli-knopki-tumblery/kontsevye-vyklyuchateli/-az-7141-250v-5a.html>
8. Технологии | Ультразвуковая технология | Принцип работы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.pepperl-fuchs.com/russia/ru/32699.htm>

9. Блок питания, 24В, 10А, 240Вт [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://supereyes.ru/catalog/Power\\_supply\\_AC\\_DC\\_converters/Blok\\_pitanija\\_24V\\_10A\\_240Vt/](https://supereyes.ru/catalog/Power_supply_AC_DC_converters/Blok_pitanija_24V_10A_240Vt/)

10. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Аналоговая и цифровая [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/shirotno-impulsnaia-moduliatsiia/>

11. ПОЛИГРАФИЯ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.expresspreprint.ru/publications-view-55.html>

12. ШИМ – широтно-импульсная модуляция - Help for engineer | Схемы, принцип действия, формулы и расчет [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://h4e.ru/obshchie-svedeniya/110-shim-shirotno-impulsnaya-modulyatsiya>

13. DIDDE 4 Color Printing Press – TZSupplies.com [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tzsupplies.com/didde-4-color-printing-press-i3232031/>

14. Detail of used printing machine DIDDE-GLASER CONSERVER PRESS ref.69133 | www.coci-sa.com/ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.coci-sa.com/ru/printing-machines/machine-didde-glaser-conserver-press-1988-69133-ru.html>



БР-130302.10 ПЗ

Перв. примен.

Спраб. №

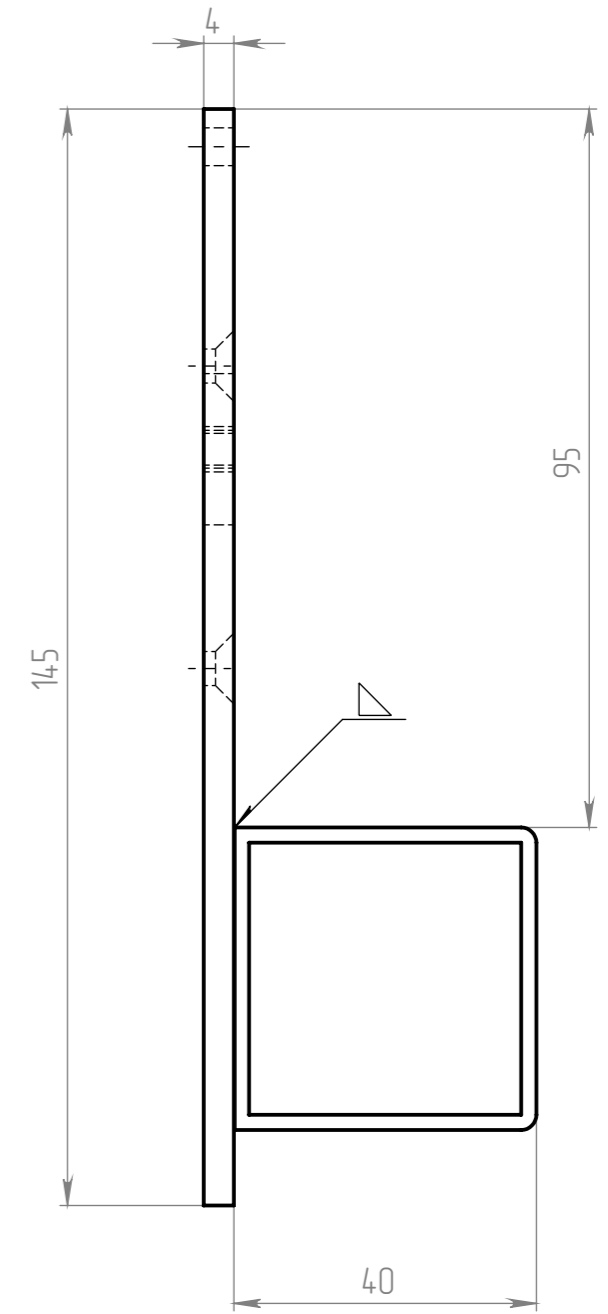
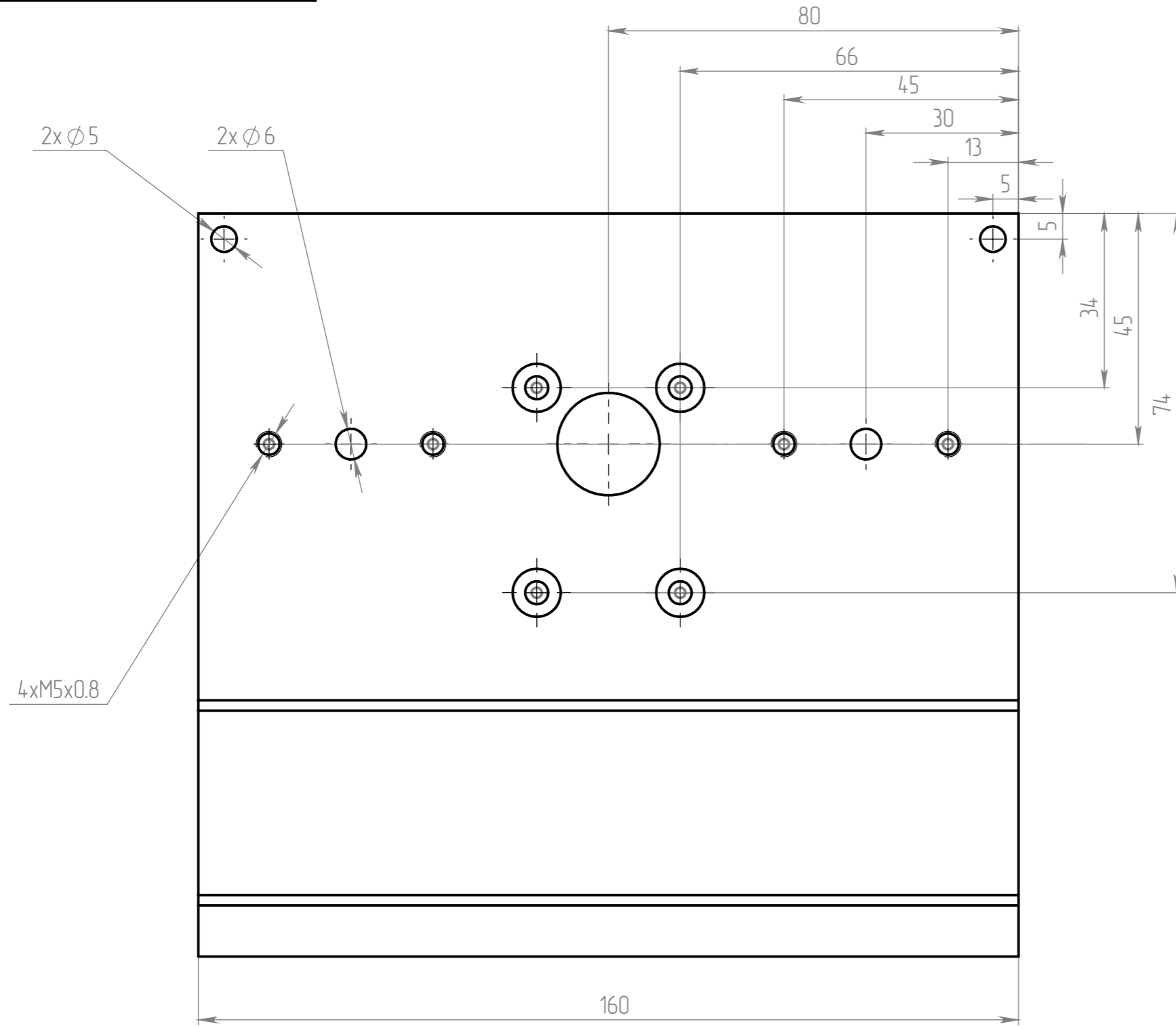
Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

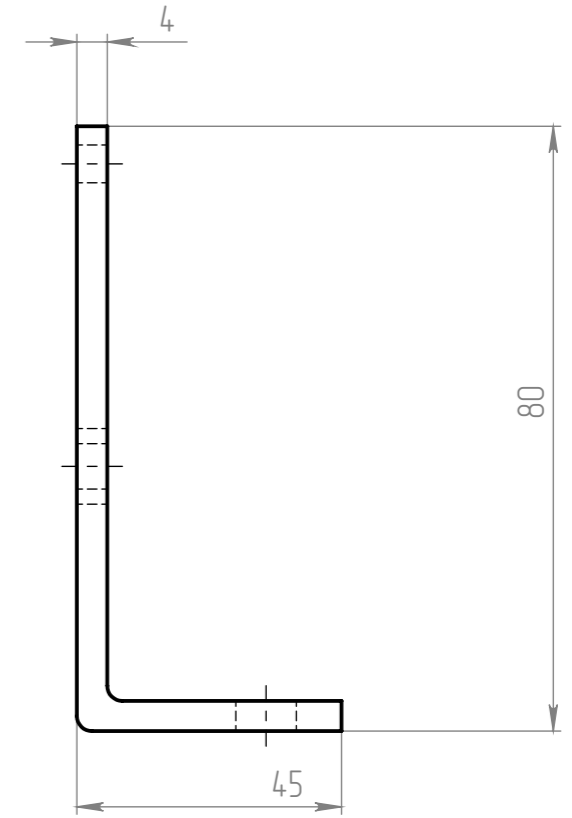
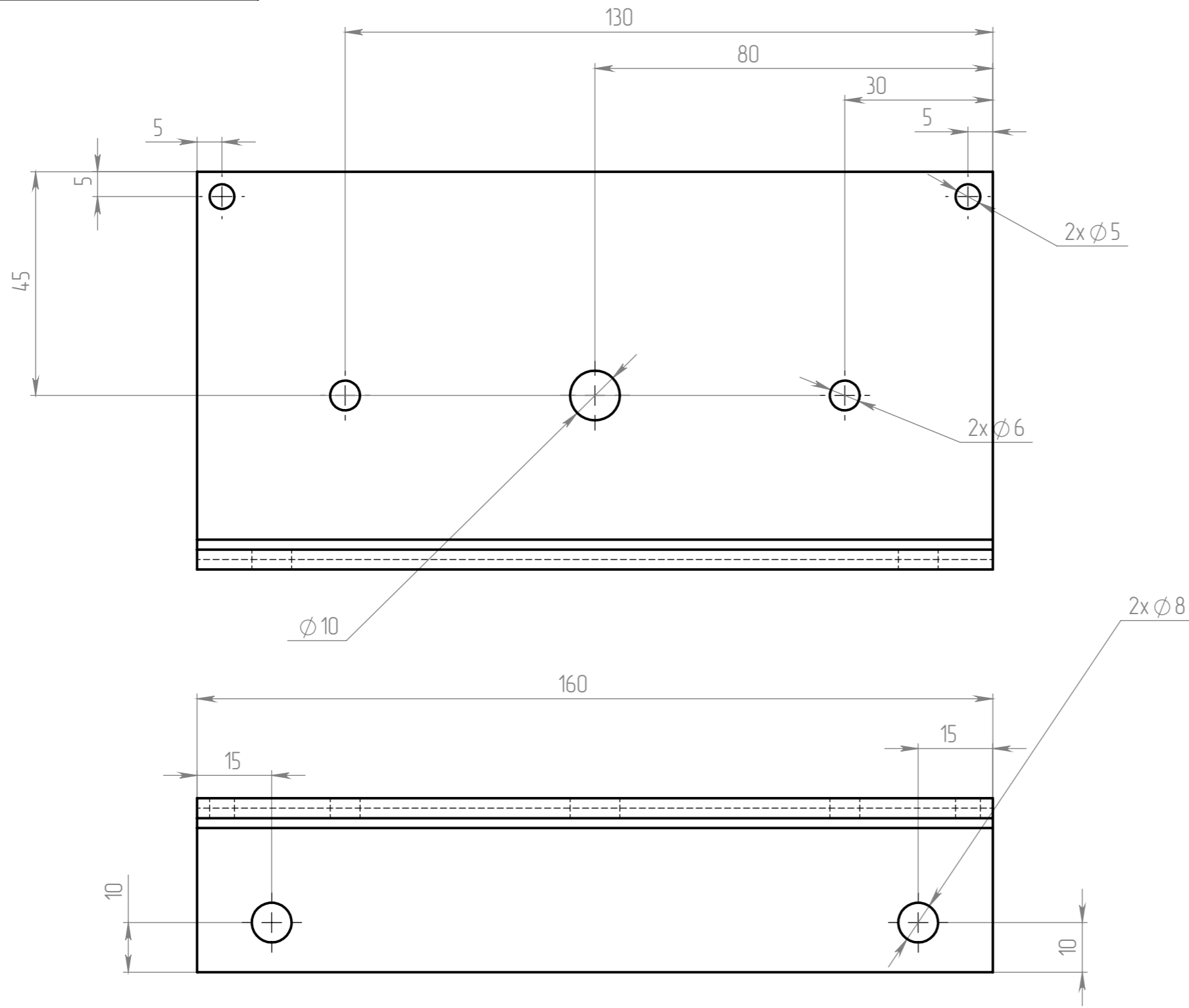
Подп. и дата

Инд. № подл.



					БР-130302.10 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Электропривод системы выравнивания полотна	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Янковой В.М.						1:2
Проб.		Пахомов А.Н.						
Т. контр.						Лист 1	Листов 4	
Н. контр.					Корпус	Электротехника		
Утв.								

БР-130302.10 ПЗ



Перв. примен.  
Справ. №  
Подп. и дата  
Инд. № дубл.  
Взам. инд. №  
Подп. и дата  
Инд. № подл.

					БР-130302.10 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата	Электропривод системы выравнивания полотна	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Янковой В.М.						1:1
Проб.		Пахомов А.Н.						
Т. контр.						Лист 2	Листов 4	
Н. контр.					Корпус	Электротехника		
Утв.								

Перв. примен.

Спраб. №

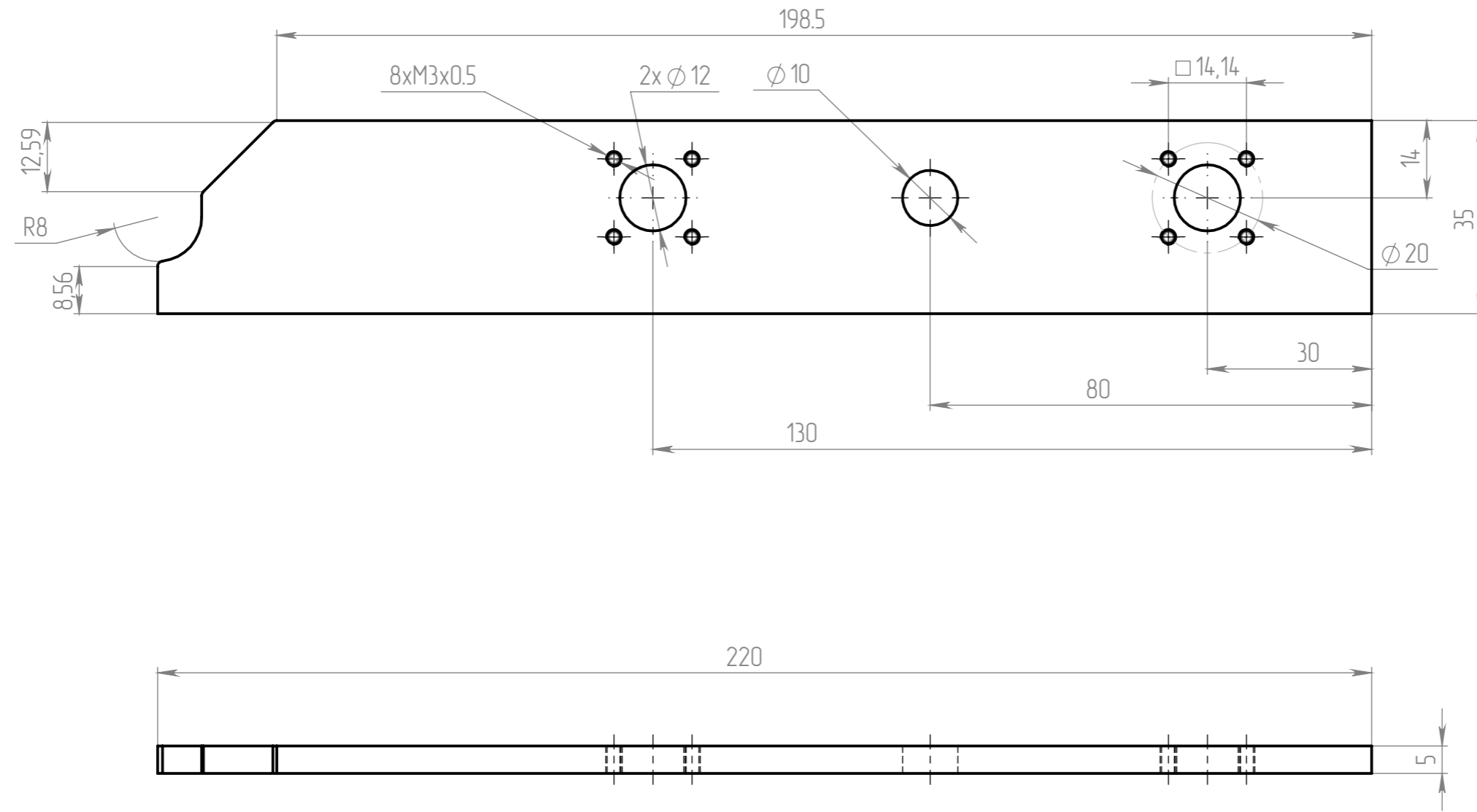
Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



					<b>БР-130302.10 ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Электропривод системы выравнивания полотна</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Янковой В.М.						<b>1:1</b>
Пров.		Пахомов А.Н.						
Т. контр.						Лист 3	Листов 4	
Н. контр.								
Утв.					<b>Ползун</b>	<b>Электротехника</b>		

БР-130302.10 ПЗ

Перв. примен.

Спраб. №

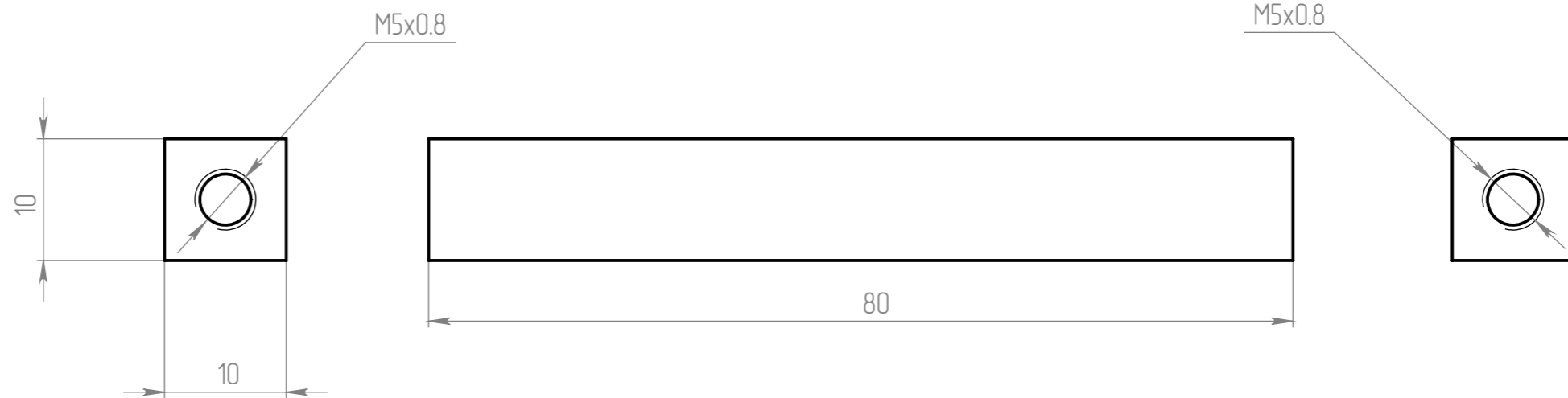
Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



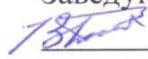
					БР-130302.10 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Электропривод системы выравнивания полотна	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Янковой В.М.						2:1
Проб.		Пахомов А.Н.				Лист 4	Листов 4	
Т. контр.								
Н. контр.					Стяжка	Электротехника		
Утв.								

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт  
Электротехники  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. Н. Тимофеев

подпись инициалы, фамилия

«17» 06 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

ЭЛЕКТРОПРИВОД СИСТЕМЫ ВЫРАВНИВАНИЯ ПОЛОТНА

Руководитель	 <u>17.06.2021</u> подпись, дата	доцент, к.т.н. должность, ученая степень	<u>А. Н. Пахомов</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>17.06.21</u>  подпись, дата		<u>В. М. Янковой</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 <u>17.06.2021</u> подпись, дата		<u>А. Н. Пахомов</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2021