


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический  
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники  
Направление подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических  
процессов и производств  
Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в  
энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
И.о. зав кафедрой  
 О.В. Скрипко  
« 28 » июня 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Разработка методического обеспечения и внедрение учебно-  
исследовательских комплексов по электроприводу (комплексная выпускная  
квалификационная работа)

Исполнитель  
студент группы 441об

  
(подпись, дата)

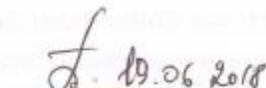
Т.К. Саяпина

Руководитель  
доцент, канд. техн. наук

  
(подпись, дата)

А.Н. Рыбалев

Консультант по безопасности  
и экологичности  
доцент, канд. техн. наук

  
(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
профессор, д-р техн. наук

  
(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Благовещенск 2018

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**(ФГОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет Энергетический

Кафедра Автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И.о.зав кафедрой



О.В. Скрипко  
И.О. Фамилия

« 28 » июня 2018 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Саяпиной Татьяны Константиновны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Разработка методического обеспечения и внедрение учебно-исследовательских комплексов по электроприводу (комплексная выпускная квалификационная работа)

(утверждено приказом от 09.04.18 № 772 уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 15.06 2018 года

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: 1) ФГОС направления подготовки бакалавров 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств; 2) Учебный план направления подготовки бакалавров 15.03.04 Автоматизации технологических процессов и производств.

4. Содержание выпускной квалификационной работы:

- 1) Разработка структурной схемы лабораторного комплекса;
- 2) Разработка методического обеспечения;
- 3) Разработка структурной схемы модернизированной системы;
- 4) Разработка принципиальной электрической схемы

модernизированной системы.

5. Перечень материалов приложения:

Лист 1: Общий вид лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»;

Лист 2: Структурная схема лабораторного комплекса;

Лист 3: Принципиальная электрическая схема лабораторного комплекса;

Лист 4: Графики механических и электромеханических характеристик;

Лист 5: Структурная схема модернизированной системы;

Лист 6: Принципиальная электрическая схема модернизированной системы;

6. Консультанты по выпускной квалифицированной работе (с указанием относящихся к ним разделов) доцент, канд. техн. наук А.Б. Булгаков.

7. Дата выдачи задания: 10.03.2018

Руководитель выпускной квалификационной работы: Рыбалев Андрей Николаевич, доцент, к.т.н.

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата):

10.03.18  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 67 с., 21 рисунок, 22 источника, 5 приложение.

ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, НАГРУЗОЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ТЯГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, КОНТРОЛЛЕР, АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ, ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО, УСТРОЙСТВО БАЛАНСИРОВКИ, ЛИТИЙ – ЖЕЛЕЗО – ФОСФАТНАЯ АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА.

В представленной выпускной квалификационной работе рассмотрена работа лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки».

Цель работы – разработка методического обеспечения и внедрения учебно-исследовательского комплекса по электроприводу путем разработки структурной и принципиальной электрической схем, а также изучение работы электросиловых двигателей и создание модернизированной системы лабораторного комплекса.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1. Лабораторный комплекс «Электросиловые двигательные установки».....	9
1.1 Описание лабораторного комплекса.....	9
1.2 Структурная схема лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки».....	9
1.3 Техническое задание на разработку.....	11
2 Основные элементы лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки» .....	13
2.1 Принцип управления вентильным двигателем. Трехфазные бесщеточные BLDC электромоторы BLT типа.....	13
2.2 Контроллер ВАС 0501 .....	14
2.4 Литий – железо – фосфатные аккумуляторные батареи.....	15
2.5 Зарядное устройство .....	17
2.6 Устройство балансировки .....	18
3 Разработка методического обеспечения лабораторного комплекса.....	19
3.1 Лабораторная работа №1 «Электромеханические характеристики тягового двигателя» .....	19
3.2 Лабораторная работа №2 «Рекуперативное торможение» .....	25
4 Проект по модернизации лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки» .....	29
4.1 Структурная схема модернизированной системы.....	30
4.2 Программируемый логический контроллер ПЛК 160 .....	31
4.3 Модуль аналогового ввода.....	34
4.4 LogicMachine 4.....	35
4.5. Выбор элементов схем балансировки и сопряжения .....	38
4.5.1 Транзистор 2Т904Б .....	38
4.5.2 Резисторы.....	39
4.5.3 Оптрон CNY17-3 .....	39
4.6 Подключение контроллеров управления ВАС 0501. ....	40
4.7 Подключение тензодатчика .....	45

4.8 Подключение АКБ .....	45
4.9 Подключение зарядного устройства .....	48
4.10 Подключение модуля аналогового ввода .....	49
4.11 Подключение LogicMachine 4.....	49
4.12 Подключение блока питания NES-350-24V .....	50
4.13 Подключение блок питания RS-15-12V.....	50
4.14 Подключение программируемого логического контроллера ПЛК 160 ...	51
5 Безопасность и экологичность лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки» .....	53
5.1 Безопасность .....	53
5.2 Экологичность .....	54
5.3 Чрезвычайные.....	55
Заключение.....	57
Библиографический список.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	66

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ДвТ – двигатель тяговый;

Двн – двигатель нагрузочный;

КУ1 – контроллер управления тяговым двигателем;

КУ2 – контроллер управления нагрузочным двигателем;

МУТД – модуль управления тяговым двигателем;

МУНД – модуль управления нагрузочным двигателем;

АКБ – аккумуляторная батарея;

ЗУ – зарядное устройство;

УБ – устройство балансировки;

МК – микроконтроллер;

БП – блок питания 12 вольт;

ДХ – датчик Холла;

ДТ – датчик температуры;

ДМ – датчик момента;

Д тока – датчик тока.

## Введение

В данном выпускной квалификационной работе на примере лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки», рассматривается работа тягового и нагрузочного бесщеточных двигателей, их система управления и работа электромеханических процессов, а также осуществляется модернизация представленного лабораторного комплекса.

Двигатели являются вентильными.

Вентильный электродвигатель – это тип синхронной машины, реализованный в замкнутой системе с использованием датчика положения ротора, системы управления и силового полупроводникового преобразователя. Чаще их называют бесконтактными двигателями постоянного тока или обращенной машиной постоянного тока. Этот тип двигателя создан с целью улучшения свойств двигателей постоянного тока.

Данный тип двигателей нашел применения в таких сферах как: авто индустрия, электро мотоциклы, скутеры, электромашины, электропогрузчики, электролодки и т.д. Они имеют высокую производительность.



## 1. Лабораторный комплекс «Электросиловые двигательные установки»

### 1.1 Описание лабораторного комплекса

Учебный стенд предназначен для разработки, исследований и испытаний новых электросиловых двигательных установок и подъемно-перегрузочных систем, их систем управления, а также конструкций электронных и электромеханических узлов и агрегатов, рабочих электромеханических процессов при разгоне, движении и торможении, с учетом влияющих на них факторов, проверкой и оптимизацией научно-технических решений современного поколения силовых установок.

### 1.2 Структурная схема лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»

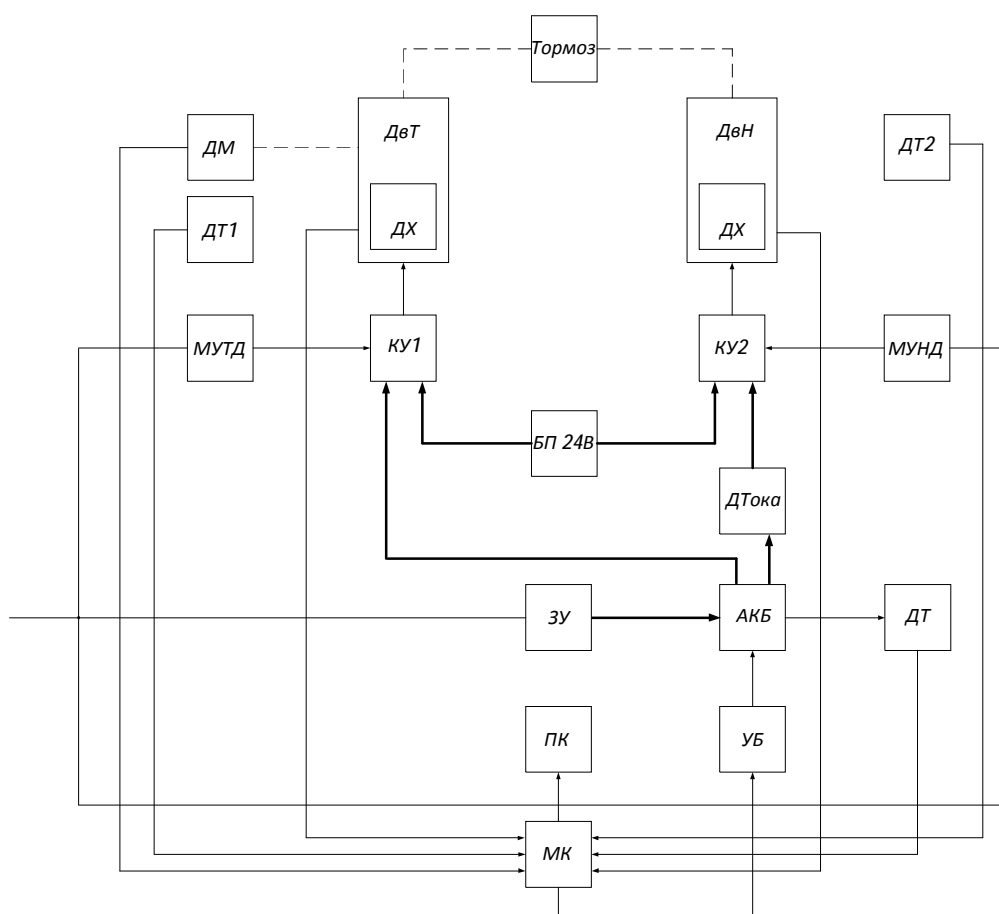


Рисунок 1 – Структурная схема лабораторного комплекса

ДвТ – двигатель тяговый;

Двн – двигатель нагрузочный;  
КУ1 – контроллер управления тяговым двигателем;  
КУ2 – контроллер управления нагрузочным двигателем;  
МУТД – модуль управления тяговым двигателем;  
МУНД – модуль управления нагрузочным двигателем;  
АКБ – аккумуляторная батарея;  
ЗУ – зарядное устройство;  
УБ – устройство балансировки;  
МК – микроконтроллер;  
БП – блок питания 12 вольт;  
ДХ – датчик Холла;  
ДТ – датчик температуры;  
ДМ – датчик момента;  
Дтока – датчик тока.

Тяговый и нагрузочный двигатели ДвТ и ДвН управляется контроллерами управления двигателями КУ1 и КУ2. Эти контроллеры принимают сигналы с модуля управления тягового и нагрузочного двигателей МУТД и МУНД.

Двигатели связаны между собой механически, при помощи ручного тормоза.

Тяговый двигатель ДвТ передает сигнал на микроконтроллер МК о моменте на его валу через датчик момента ДМ.

Аккумуляторная батарея АКБ может принимать сигнал с зарядного устройства ЗУ и устройства балансировки УБ, а также передавать сигнал датчику температуры ДТ. На АКБ можно измерять ток через датчик тока ДТтока.

Датчики температуры ДТ и ДТ1, ДТ2 изменяют температуру на АКБ и двигателях ДвТ и ДвН. Этот сигнал они передают микроконтроллеру МК.

Установленные датчики Холла ДХ на двигателях также передают свой сигнал на микроконтроллер.

Все сигналы, пришедшие на микроконтроллер, обрабатываются им и отображаются на компьютере ПК.

Структурная схема представлена в приложении А.

### **1.3 Техническое задание на разработку**

Техническое задание является одной из самых важной стадий проектирования.

Текст технического задания представлен в Приложении Б.

Содержание разделов технического задания включает:

1. «Общие сведения». Здесь представлена общая информация о наименовании разработки и сроки выполнения работы.
2. «Назначение и цели развития системы» включает в себя:
  - 2.1 «Назначение системы». Информация о предназначении системы;
  - 2.2 «Цели развития системы». Цели, которые должны быть достигнуты в ходе выполнения работы.
- 3.«Характеристики объекта». Приведены краткие сведения об объекте или ссылки на документы, содержащие эту информацию.
4. «Требования к системе» содержит подраздел «Требования к системе в целом», который включает в себя:
  - 4.1«Требования к численности и квалификации персонала системы». Информацию о квалификации и численности персонала.
  - 4.2 «Требования к надежности». Указываются требования к обеспечению надежного функционирования системы.
  - 4.3«Требования к безопасности». Представлены требования по обеспечению безопасности при работе с объектом.
  - 4.4«Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы». Информация об условия эксплуатации и обслуживании объекта.
5. «Состав и содержание работ по развитию системы». В соответствии с ГОСТ 24.601 приводится информация о стадиях и этапах работы.
- 6.«Требования к документации». Представлен список чертежей и схем, разработанных в ходе выполнения работы.

7. «Источники разработки». Перечислены документы и информационные материалы на основании которых разрабатывалось ТЗ и которые должны быть использованы при создании системы.

## 2 Основные элементы лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»

### **2.1 Принцип управления вентильным двигателем. Трехфазные бесщеточные BLDC электродвигатели BLT типа**

Вентильные электродвигатели – это синхронные двигатели, в основе которых лежит принцип частотного регулирования с самосинхронизацией. Его суть заключается в управлении вектором магнитного поля статора в зависимости от положения ротора.

Этот тип двигателей применяется в различных сферах: от бытовых приборов до рельсового транспорта.

Вентильные двигатели подразделяются на двигатели постоянного и переменного тока. Кроме того, они различаются по числу фаз – однофазные, двухфазные, трехфазные и четырехфазные.

Двигатели, которые используются в лабораторном комплексе является трехфазным. Эта дисковая конструкция мотора применяется для создания момента вращения, не применяя для этого большое число фаз.

Трехфазные двигатели вентильного типа, имеющие четное количество полюсов, стали хорошим вариантом для устройств, где требуется сочетание небольшой скорости и высокой мощности. Недостатками 3-фазных вентильных моторов является высокий уровень шума.

В качестве тягового и нагрузочного двигателей в лабораторной установке используются бесщеточные BLDC электродвигатели мощностью 500 и 650 Вт.

BLDC моторы – это бесщеточные моторы постоянного тока. Относятся к серии мощных электродвигателей от компании GoldenMotor.

Данные моторы являются водостойкими, герметичными, а так же они не боятся краткосрочного погружения в воду. Алюминиевый корпус позволяет максимально эффективно использовать воздушное охлаждение. Вал выполнен из нержавеющей стали, что позволяет держать максимальные нагрузки.

В таблице 1 представлены технические характеристики тягового и нагрузочного двигателей[1].

Таблица 1 – Технические характеристики тягового и нагрузочного двигателей.

Параметр	Тяговый двигатель HPM500W-24	Нагрузочный двигатель HPM650W-24
BLDC безщеточного мотора постоянного тока		
Модель	BLT-500	BLDC-650W
Рабочее напряжение, В	36 – 60	36 – 60
Рабочая мощность, Вт	500	650
Пиковая мощность, Вт	785	952
Номинальный крутящий момент, Н·м	4,32	4,52
Пиковый крутящий момент, Н·м	8,18	11,32
Оборотов в минуту, об/мин	100 – 1176	100 – 1176
КПД, %	>90	>90
Долговечность, час	>20,000	>20,000
Размеры, см	12,7x9,8	12,7x10,8
Вес, кг	6	6,5

## 2.2 Контроллер ВАС 0501

В данном лабораторном комплексе в качестве преобразователя выступают контроллеры управления тяговым и нагрузочным двигателями ВАС 0501.

Контроллер управления двигателем ВАС 0501 с возможностью плавного регулирования скорости тягового двигателя, реверсом, рекуперацией, защитой от перенапряжения, перегрева, ограничением тока, с входами для датчиков Холла, аналоговым интерфейсом задания, с возможностью подключения по цифровым интерфейсам, с гальванически развязанным питанием информационных каналов.

Особенности контроллера ВАС 0501: настройки параметров управления двигателем, программируются через ПК; автоматический переход на резервную схему управления мотором при выходе из строя одного из датчиков; система рекуперативного торможения (включается, при нажатии ручного тормо-

за); контроль обрыва фазы; защита по току; защита от низкого напряжения (защита от глубокого разряда батареи).

В таблице 2 представлены технические характеристики контроллера ВАС 0501 [2].

Таблица 2 – Технические характеристики контроллера ВАС 0501.

Параметр	Значение
Модель	ВАС-0501
Напряжение питания контроллера, В	24/36/48V/60
Постоянный ток, А	50
Максимальное течение, А	100
Номинальная выходная мощность, Вт	2000
Вес, кг/блок	1,5
Вход задания скорости	Аналоговый
Вход для сигналов тормоза и реверса	Типа «сухой контакт»
Вход для сигналов	типа «сухой контакт»
Рекуперация торможения	

#### 2.4 Литий – железо –фосфатные аккумуляторные батареи

Аккумулятор – многозарядный источник тока химического действия. Аккумулятор используется для накопления энергии и дальнейшего его использования как автономный источник энергии.

Аккумуляторная батарея (АКБ) – это совокупность нескольких аккумуляторов, соединённых в одну электрическую цепь.

На представленном лабораторном комплексе используются литий – железо – фосфатные аккумуляторные батареи «Thundersky».

Литий-ионные LI – ION аккумуляторы – это тип необслуживаемых герметичных аккумуляторных батарей. Данные аккумуляторы являются наиболее перспективными во всем мире и в России.

LI – ION аккумуляторы снабжены платой защиты BMS (Battery Management System) – это электронная плата, которая устанавливается на АКБ с целью ее защиты от перезарядов и глубоких разрядов, контроля температуры, а так же для балансировки ячеек между собой [3].

Данный тип АКБ не вызывает проблем с эксплуатацией.

Литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LiFePO<sub>4</sub>) являются более безопасными, производительными и стабильными.

Литий-железо-фосфатные аккумуляторы очень чувствительны, поэтому их запрещается перезаряжать и разряжать ниже определенного напряжения.

Если разрядить ячейку АКБ ниже положенного, то она стремительно начнет терять ёмкость и перестанет заряжаться, что спровоцирует ее выход из строя. Если перезарядить, то из-за выделения газов внутри ячейки аккумулятор начнет вздуваться, начнет терять ёмкость, и так же придет в негодность.

Чтобы предотвратить повреждение отдельных ячеек АКБ и выхода их из строя, литий-железо-фосфатные аккумуляторы оснащены электронной схемой балансировки (BMS).

Дело в том, что при последовательном соединении ячеек АКБ (как в лабораторном комплексе) равномерного распределения заряда как при параллельном соединении, между ячейками не будет, в результате чего одни ячейки остаются недозапряженными, а другие перезаряжаются.

Так как во время эксплуатации напряжение ячеек различается, то со временем наступает момент, когда общее напряжение остается в пределах нормы, а напряжение ячеек разное. Например, в данном лабораторном комплексе напряжение на каждой ячейке должно составлять не более 3,7 вольт. Первая ячейка может иметь напряжение 3,5, вторая – 3,6, третья – 3,7, а четвертая – 4,1. В итоге, четвертая ячейка имеет небольшой перезаряд и из-за в этой ячейке начинают происходить необратимые разрушительные процессы. Впоследствии чего аккумуляторная батарея в процессе эксплуатации не будет отдавать требуемой емкости и из-за неравномерного распределения заряда быстро придет в негодность. Таким образом, дисбаланс ячеек происходит из-за разности их сопротивлений.

Для устранения дисбаланса применяют балансировочные платы (балансиры), которые подключаются к каждой ячейке. Так при достижении ячейки 3,7 вольт подключается балластный резистор, он разряжает ячейку, если её напря-



жение превысит порог срабатывания. Таким образом, балансиры шунтируют зарядившуюся ячейку, чтобы она не перезарядилась, пока не зарядятся остальные. В таблице 3 представлены технические характеристики АКБ «Thundersky» [4].

Таблица 3 – Технические характеристики АКБ «Thundersky»

Параметр	Значение
Тип батареи	литий-железо-фосфатная
Напряжение, В	3,6
Емкость, А·ч	40
Технология	LiFePO4
BMS	Нет
Количество циклов зарядки, раз	> 5000 – 7000
Максимальный непрерывный ток разряда, А	120
Пиковый ток разряда, А	400
Максимальная непрерывная выдаваемая мощность, Вт	384
Пиковая выдаваемая мощность, Вт	1200
внутреннее сопротивление ячейки, мОм	<0,55
Максимальный ток заряда, А	120А (3С)
Температура эксплуатации, °С	от - 45 до 85
Размеры АКБ, мм	115 × 47 × 183
Корпус	Огнеупорный пластик
Вес, кг	1,6

## 2.5 Зарядное устройство

В рассматриваемом стенде используется зарядное устройство типа GoodWillInstekSPS-3610 с возможностью ручного плавного регулирования тока зарядки, индикатором включения и работы и защитами питающих цепей от перегрузки.

Регулируемые импульсные источники питания серии SPSпредназначены для питания радиотехнических устройствстабилизированным постоянным напряжением или током и может использоваться в лабораторных и производственных условиях.

Входное напряжение и ток плавно регулируются в пределах от 0 до номинального значения. Для регулирования каждого из параметров используется ручки грубой и точной настройки. Установленные значения напряжения и тока отображаются на цифровом вольтметре и амперметре соответственно.

В источник питания SPS могут устанавливаться органы регулирования уровня защиты нагрузки от перенапряжения и дистанционного включения/выключения выходного напряжения. В таблице 4 представлены технические характеристики зарядного устройства SPS 3610 [5].

Таблица 4 – Технические характеристики зарядного устройства SPS 3610.

Параметр	Значение
Выходное напряжение, В	36
Выходной ток, А	10
Тип источника	импульсный

## 2.6 Устройство балансировки

Устройство балансировки (на микроконтроллере) представляется собой цепочку последовательно соединенных аккумуляторов, и обеспечивает контроль за процессами заряда и разряда АКБ. О работе балансиров и балансировочных плат рассказано выше.

### 3 Разработка методического обеспечения лабораторного комплекса

#### **3.1 Лабораторная работа №1 «Электромеханические характеристики тягового двигателя»**

Тема: Электросиловые двигательные установки.

Цель: Получение экспериментальным путем электромеханических характеристик тягового двигателя.

Задание: Получить экспериментальным путем электромеханические характеристики тягового двигателя, а именно зависимости скорости вращения двигателя от момента на валу  $W(M)$ , и тока потребления от нагрузки на валу  $I(M)$  при различных заданиях скорости двигателя.

Порядок выполнения работы

1. Убедиться, что лабораторный стенд не подключен к сети.
2. Включение стенда.

Согласно электрической схеме подключений, подключите тяговый двигатель к контроллеру управления, а контроллер управления к АКБ, блок питания к нагрузочному двигателю, либо в случае необходимости заряда АКБ подключите зарядное устройство к АКБ, при этом убедитесь, что все тумблеры SW1, SW2, SW3 выключены. Включите автомат QF1. После этого автоматически поступит питание на зарядное устройство, блок питания, устройство балансировки и включится подсветка силовой установки. После инициализации, на экране устройства балансировки появится надпись «Нажмите СТАРТ», это позволит еще раз убедиться в правильности подключения схемы и на этом этапе есть возможность подключить устройство балансировки по USB к ноутбуку. Если в момент нажатия кнопки «Старт» USB кабель подключен к выключенному ноутбуку, то в программе EIDrive (рисунок 21) можно будет наблюдать за параметрами двигателя, АКБ и графиками, если нет, то после нажатия кнопки «Старт» ПОДКЛЮЧЕНИЕ НОУТБУКА БУДЕТ ИГНОРИРОВАТЬСЯ и программа EIDrive не будет работать. Также запрещается после включения ноутбука к стенду по USB и последующего нажатия кнопки «Старт» выключать но-

утбук или вытаскивать кабель. Для нормальной работы следует подключить ноутбук к сети 220 В входящим в комплект кабелем, включить ноутбук, дождаться загрузки и появления рабочего стола, затем в соответствии с изложенной выше информацией включить стенд, дождаться надписи «Нажмите СТАРТ», подключить входящим в комплект кабелем USB ноутбук к стенду и нажать кнопку «Старт», после этого стенд определится в системе и можно запустить программу EIDrive, которая находится на рабочем столе. В случае сбоя связи со стендом по USB в процессе работы EIDrive, необходимо выключить программу, вытащить кабель USB из стенда, далее следуя подсказкам на экране перезагрузить устройство балансировки, нажав «Сброс», далее необходимо повторить процедуру данного пункта и продолжить работу со стендом.

3. Включить контроллер управления тяговым двигателем с помощью переключателя включить/выключить. При этом убедиться, что ручка регулировки скорости находится в положении «0».

4. После включения стенда и программы EIDrive, необходимо дать задание тяговому двигателю, а именно установить ручку регулирования скорости на заданную величину.

5. После того как двигатель запустился, необходимо ручным тормозом, который находится на поверхности рабочего стола, останавливать двигатель. НО! Делать это следует аккуратно, не резко, чтобы не испортить установку.

6. После нажатия на ручной тормоз, необходимо его зафиксировать таким образом, чтоб в программе EIDrive в области параметров двигателя установился момент.

7. Далее занести в таблицу значения скорости вращения  $W$  и значение момента  $M$  при этой скорости.

8. Проводить эксперимент следует до полного останова двигателя.

9. По полученным данным необходимо построить механическую зависимость  $W(M)$  тягового двигателя.

10. Для более точных результатов необходимо проводить эксперимент при различных заданиях скорости.

Ниже, на рисунках 2-5 представлены механические характеристики тягового двигателя при заданиях скорости вращения 65%, 75%, 80% и 90%. Из графиков видно, что зависимость  $W(M)$  – линейна.

Таблица 5 – Значения скорости вращения и тока.

65%		75%		80%		90%	
W,об <sup>-1</sup>	M,Нм	W,об <sup>-1</sup>	M,Нм	W,об <sup>-1</sup>	M,Нм	W,об <sup>-1</sup>	M,Нм
125	0,5	360	0,6	520	0,8	875	1,1
100	1,3	320	1,9	505	1,3	815	2
75	2,2	280	3,1	480	1,7	760	3,1
55	2,	230	3,8	450	2,1	700	5
15	4	195	5	420	3	650	6,3
		165	6,9	400	3,5	620	6,5
				380	4	370	8,9
				370	4,6	100	9
				350	5,1		
				320	6,7		
				180	9		

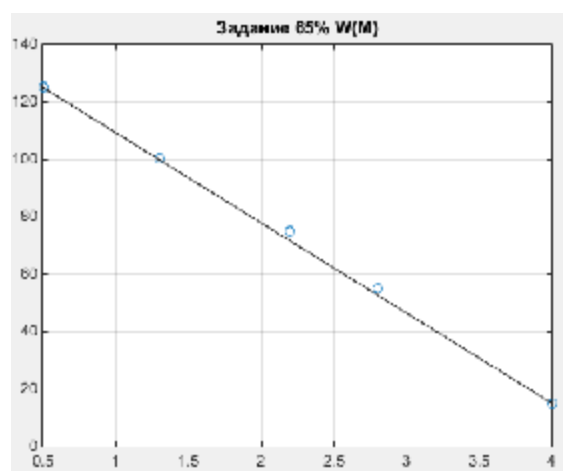


Рисунок 2 – Механическая характеристика при задании 65%

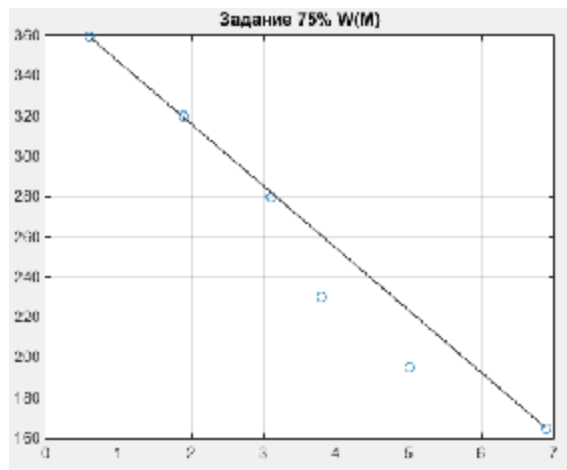


Рисунок 3 – Механическая характеристика при задании 75%

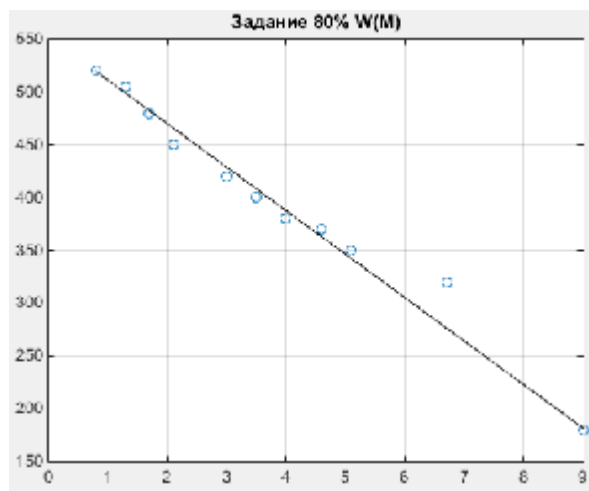


Рисунок 4 – Механическая характеристика при задании 80%

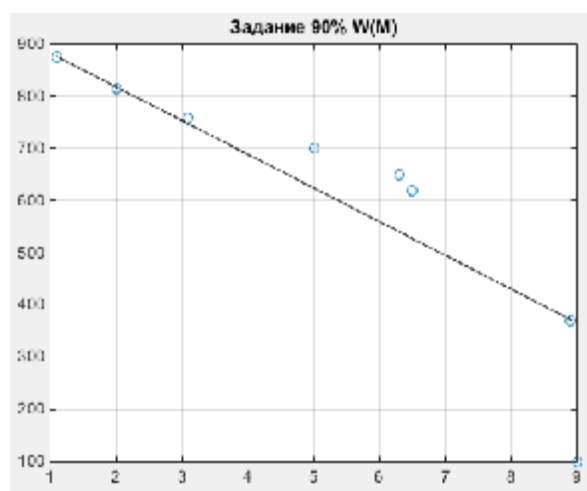


Рисунок 5 – Механическая характеристика при задании 90%

11. Для снятия электромеханических характеристик  $I(M)$  необходимо подключить стенд через АКБ. Если необходимо зарядить АКБ, то сначала заряжаем их, а затем продолжаем работу. Важно при подключении ноутбука соблюсти все рекомендации описанные в п.1.

12. Эксперимент проводится таким же образом, что и ранее – запускаем тяговый двигатель с помощью ручки регулирования скорости задаем «задание» и останавливаем двигатель с помощью ручного тормоза.

Но! В области отображения параметров двигателя необходимо зафиксировать и занести в таблицу значения скорости вращения  $W$ , тока  $I$  и момента на валу двигателя  $M$ .

13. По полученным данным необходимо построить электрическую зависимость  $I(M)$  тягового двигателя.

14. Для более точных результатов необходимо проводить эксперимент при различных заданиях скорости.

Ниже, на рисунках 6-9, представлены электрические характеристики тягового двигателя при заданиях скорости вращения 65%, 75%, 80% и 90% и примеры таблиц. Из графиков видно, что зависимость  $I(M)$  – линейна.

В приложении В представлены графики электромеханических характеристик.

Таблица 6 – Значения скорости вращения, тока и момента.

65%			75%			80%			90%		
I, A	$W, \text{об}^{-1}$	M, Нм	I, A	$W, \text{об}^{-1}$	M, Нм	I, A	$W, \text{об}^{-1}$	M, Нм	I, A	$W, \text{об}^{-1}$	M, Нм
0,5	95	0,5	1,1	360	0,8	1,4	505	0,8	3,2	925	1
0,8	65	1,4	2,2	300	2,4	2,2	460	1,8	5,4	830	2,8
1,1	40	2,4	3,2	250	3,5	3,6	415	2,7	7	780	3,3
1,2	20	3	4	225	4,1	4,4	380	3,6	8	735	4
			5	170	6,1	6,2	310	5,8	9,8	640	5,1
			7,5	100	9	7,8	260	6,8	11	560	6

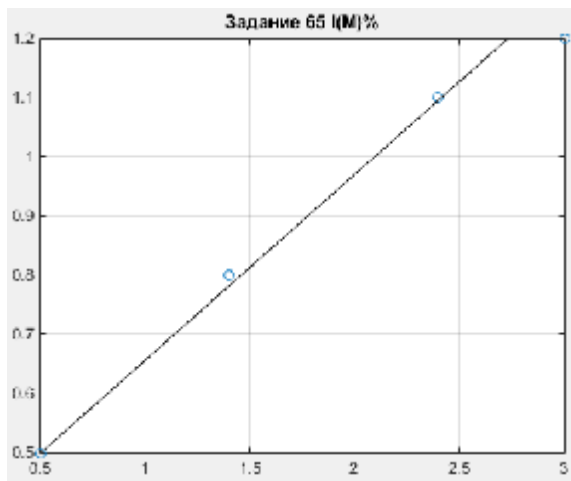


Рисунок 6 – Электрическая характеристика при задании 65%

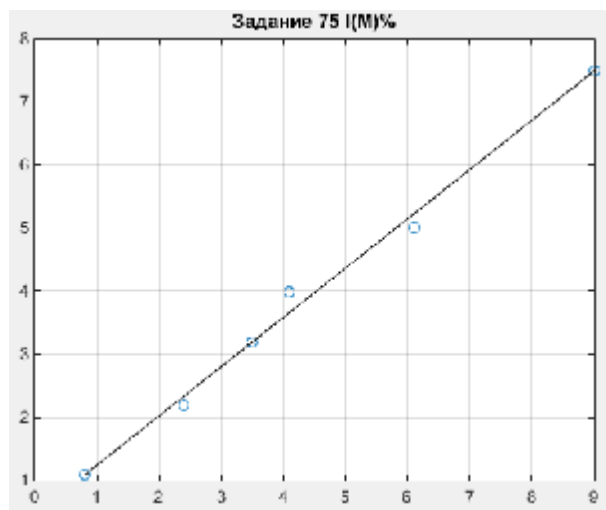


Рисунок 7 – Электрическая характеристика при задании 75%

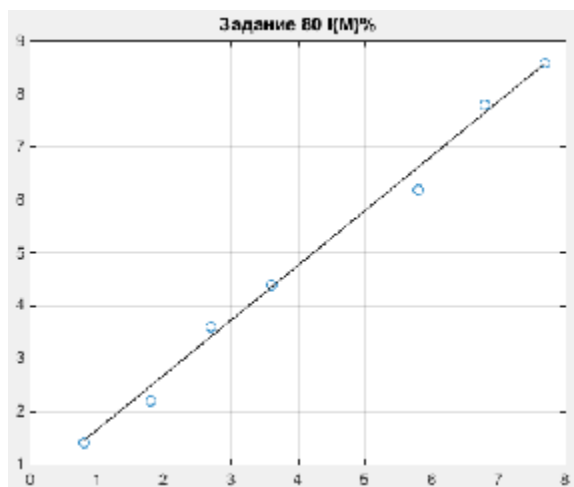


Рисунок 8 – Электрическая характеристика при задании 80%



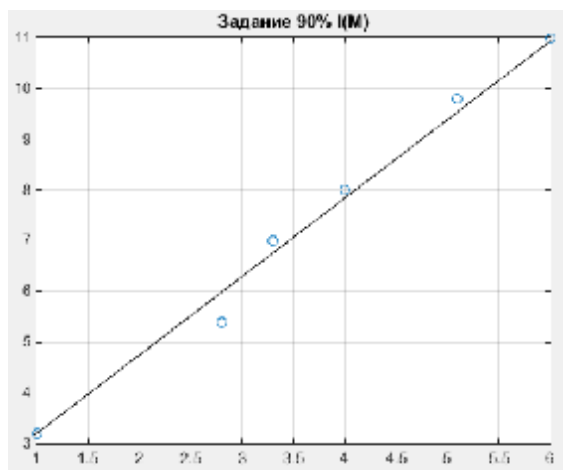


Рисунок 9 – Электрическая характеристика при задании 90%

### 3.2 Лабораторная работа №2 «Рекуперативное торможение»

Тема: Рекуперативное торможение.

Цель: Исследование и анализ торможения исполнительного агрегата. Исследование влияния интенсивности рекуперативного торможения на заряд аккумуляторной батареи.

Задание: Исследовать электросиловую установку в условиях торможения исполнительного агрегата и влияние интенсивности рекуперативного торможения на заряд аккумуляторной батареи. Оценка результатов.

Порядок выполнения работы

1. Убедиться, что лабораторный стенд не подключен к сети.
2. Включение стенда произвести с учетом рекомендаций в п.1 лабораторной работы №1.
3. Включить контроллер управления тяговым двигателем с помощью переключателя включить/выключить. При этом убедиться, что ручка регулировки скорости находится в положении «0».
4. С помощью ручного тормоза или кнопки «Тормоз» пронаблюдать изменение показателей скорости, момента и тока. (Чтобы пронаблюдать изменение тока необходимо подключить стенд через АКБ. Если необходимо зарядить АКБ, то сначала заряжаем их, а затем продолжаем работу. Важно при подключении ноутбука соблюдать все рекомендации описанные в п.1.)

5. Тоже самое проделать и с нагрузочным двигателем. Включить модуль управления нагрузочным двигателем с помощью переключателя включить/выключить. При этом убедиться, что ручка регулировки скорости находится в положении «0». Запустить тяговый двигатель.

6. С помощью ручного тормоза или кнопки «Тормоз» пронаблюдать изменение показателей скорости, момента и тока.

7. Теперь необходимо разогнать тяговый двигатель с помощью нагрузочного двигателя.

Для этого включаем оба двигателя, устанавливаем задание тяговому двигателю. После пуска тягового двигателя, устанавливаем задание нагрузочному двигателю. Делать это следует постепенно. Далее наблюдаем за скоростью вращения электросиловой установки.

8. Пронаблюдать изменение показателей скорости, момента и тока.

9. Пронаблюдаем торможение нагрузочного двигателя тяговым.

Для этого запустим нагрузочный двигатель, установим тумблер «Реверс» на тяговом двигателе и запустим его.

Исходя из проведенных экспериментов можно сделать выводы:

1. При торможении двигателя скорость вращения двигателя резко убывает;

2. Момент на валу двигателя резко возрастает;

3. Изменение показателей тока можно пронаблюдать только в цепи подключения к АКБ, в противном случае изменений показаний на графике не будет.

4. При разгоне работе тягового и нагрузочного двигателей наблюдается разгон электросиловой установки.

5. При включении тягового двигателя в режим «Реверс» наблюдается торможение нагрузочного двигателя.

Исследуем рекуперативное торможение.

Рекуперативное торможение – вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, возвращается в электрическую сеть.

Рассмотри принцип работы рекуперативного торможения на примере транспортного средства.

Работа электрической системы рекуперации сводится к следующему. Тяговые электродвигатели при необходимости торможения транспортного средства (железнодорожного состава или автомобиля) отключаются от электропитания и переходят в генераторный режим, то есть начинают сами вырабатывать ток. В этом режиме на валах электродвигателей возникает тормозной момент, который и приводит к снижению скорости транспортного средства.

Причина возникновения тормозного момента кроется в основах электродинамики: при вращении ротора в его обмотке и обмотке статора возникают токи противоположного направления – взаимодействие этих токов и приводит к торможению ротора. При этом на выработку электроэнергии тратится запасенная транспортным средством кинетическая энергия, и по ее истощению (преобразованию в тепло и электроэнергию) происходит снижение скорости поезда или автомобиля.

Наибольшее распространение рекуперативное торможение получило на железнодорожном транспорте, особенно на грузовых локомотивах постоянного тока, что обусловлено сложностью рекуперации машин на переменном токе. При этом система рекуперации используется не для полного торможения состава, а для снижения скорости перед основным торможением и для поддержания оптимального скоростного режима при движении с уклоном. Так как масса поездов большая (тысячи тонн), эффект от рекуперации значителен и оборачивается экономией в миллионы рублей в год.

Так же рекуперативное торможение широко применяется на электропоездах, электропоездах, современных трамваях, троллейбусах и т.д.

Порядок выполнения работы

1. Убедиться, что лабораторный стенд не подключен к сети.

2. Включение стенда произвести с учетом рекомендаций в п.1 лабораторной работы №1.

3. Необходимо подключить стенд через АКБ. Если необходимо зарядить АКБ, то сначала заряжаем их, а затем продолжаем работу. Важно при подключении ноутбука соблюсти все рекомендации описанные в п.1.

4. Включить контроллер управления тяговым двигателем с помощью переключателя включить/выключить. При этом убедиться, что ручка регулировки скорости находится в положении «0».

5. Запустить тяговый двигатель, установить задание.

6. Установить тумблер «Реверс». При этом на экране компьютера в области отображения ошибок должен загореться желтым цветом значок «рекуперации». Пронаблюдать влияние рекуперации на заряд АКБ.

Исходя из проведенных экспериментов можно сделать вывод:

При включении режима рекуперации вырабатываемая тяговым двигателем энергия возвращается в сеть.

#### 4Проект по модернизации лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»

В ходе эксплуатации и разработки учебно-методического пособия к данному лабораторному комплексу, возникли проблемы с работой аккумуляторных батарей. Балансировочные платы на АКБ, оказались неработоспособны, что привело к выходу из рабочего состояния нескольких ячеек АКБ.

Поскольку балансировочная плата не справляется с функциями балансировки заряда АКБ, а так же с функциями измерения температуры на АКБ и выдачи соответствующего управления балансировки, либо отключения АКБ от источника питания, и невозможностью исправить алгоритмы программы, поскольку система является закрытой, было принято решение о разработке новой, открытой системы на базе ПЛК. Структурная схема модернизированной системы представлена в приложении Г.

## 4.1 Структурная схема модернизированной системы

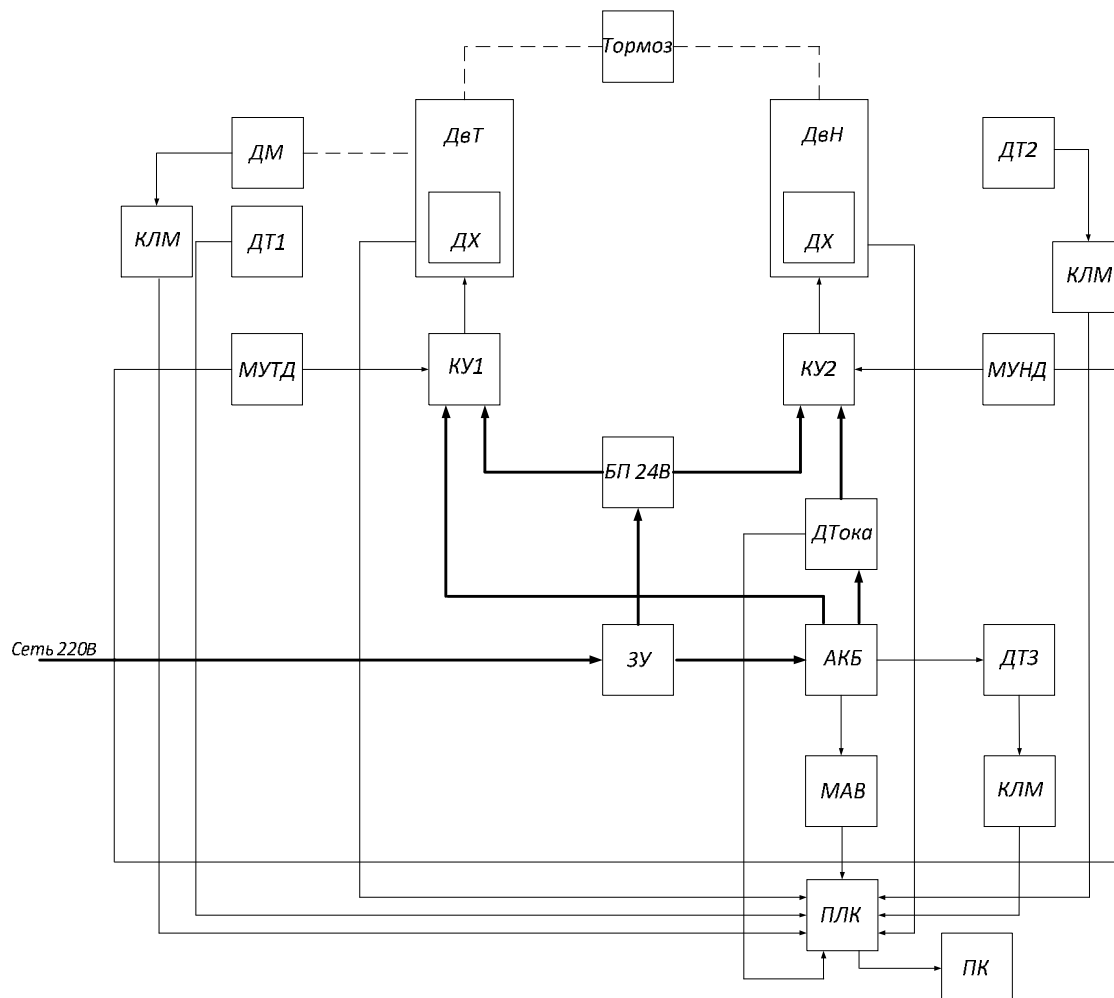


Рисунок 10 – Структурная схема модернизированной системы

ПЛК – Программируемое логическое устройство;

МАН – модуль аналогового ввода;

КЛМ – свободно программируемый логический контроллер;

В новую структурную схему были внедрены три новых элемента: ПЛК, МАН, КЛМ.

Модуль аналогового ввода МАН получает сигналы измерения напряжения с ячеек аккумуляторной батареи АКБ и передает его в программируемый логический контроллер ПЛК.

Сигналы с датчиков температуры ДТ поступают на контроллер КЛМ, который передает эти данные в ПЛК.

В данной главе представлено оборудование необходимое для модернизации лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки».

Рассмотрим особенности основных элементов новой системы.

Структурная схема модернизированной системы представлена в приложении Д

8 сигналов измерения напряжения (АКБ);

10 сигналов измерения температуры (ДТ);

3 сигнала датчика Холла; (ДХ)

2 сигнала момента (ДМ).

Входные сигналы ПЛК:

сигналы управления АКБ.

Входные сигналы контроллеров ВАС:

3 сигнала датчика Холла (ДХ).

Входные сигналы контроллеров ВАС:

сигналы управления двигателями (Д1, Д2).

#### **4.2 Программируемый логический контроллер ПЛК 160**

Для реализации поставленной задачи необходим контроллер, обладающий большим количеством аналоговых и дискретных входов/выходов. Он должен поддерживать интерфейс RS-485, работающий по протоколу ModBus. ПЛК 160 отвечает заявленным требованиям.

ОВЕН ПЛК160 – линейка программируемых моноблочных контроллеров с дискретными и аналоговыми входами/выходами на борту для автоматизации средних систем.

Контроллер предназначен для: измерения аналоговых сигналов тока или напряжения и преобразования их к выбранной пользователем физической величине; измерения дискретных входных сигналов; управление дискретными (релейными) выходами; управление аналоговыми выходами; прием и передачу данных по интерфейсам RS-485, RS-232, Ethernet; выполнение пользовательской программы по анализу результатов измерения дискретных и аналоговых входов, управления дискретными входами и выходами, передачи и приему данных по интерфейсам RS-485, RS-232, Ethernet.

Контроллер может применяться для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, в т.ч. железнодорожном, в различных областях промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства.

Контроллер может быть использован как: специализированное устройство управления выделенным локализованным объектом; устройство мониторинга локализованного объекта в составе комплексной информационной сети; специализированное устройство управления и мониторинга группой локализованных объектов в составе комплексной информационной сети.

Программирование контроллеров осуществляется в профессиональной, распространенной среде CODESYS v.2.3.x.

Он поддерживает 5 языков программирования, для специалистов любой отрасли; имеет мощное средство разработки и отладки комплексных проектов автоматизации на базе контроллеров; обладает функциями документирования проектов; количество логических операций ограничивается только количеством свободной памяти контроллера; практически неограниченное количество используемых в проекте счетчиков, триггеров, генераторов [6]. В таблице 7 представлены технические характеристики ПЛК 160.

Таблица 7 – Технические характеристики ПЛК 160

Параметр	Значение (свойство)
Напряжение питания, В	От 90 до 264 переменного тока (номинальное 120/230В)
Потребляемая мощность, ВА	40
Параметры встроенного источника питания	Выходное напряжение 24±3 В
Цифровые (дискретные) входы	
Количество входов из них быстродействующие	16 4 (DI1-DI4)
Напряжение питания дискретных входов, В	24±3



Подключаемые входные устройства	Коммутационные устройства (контакты кнопок, выключателей, герконов, реле и тд); датчики, имеющие на выходе транзистор n-p-n или p-n-p типа с открытым коллектором; дискретные сигналы 24±3.
Гальваническая развязка	Групповая
Дискретные выходы	
Количество релейных выходов каналов	12
Гальваническая развязка	Индивидуальная для DO1-DO8; Групповая для DO9-DO10; Групповая для DO11-DO12.
Аналоговые входы	
1	2
Количество аналоговых входов	8
Гальваническая изоляция аналоговых входов	Групповая (8 входов)

В таблице 8 представлена информация об интерфейсах и протоколах контроллера ПЛК 160.

Таблица 8 – Интерфейсы и протоколы контроллера ПЛК 160.

Интерфейсы связи	Протоколы (тип связи и особенности работы)
RS-485	ModBus-RTU ;ModBus-ASCII; DCON; OBEH
RS-232	ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON; OBEH
RS-232-Debug	ModBus-RTU (только slave) ModBus-ASCII; DCON GateWay (только для Debug RS-232) OBEH
Ethernet 100 Base-T	ModBus-TCP Gateway TCP-IP UDP-IP Codesys Network Variables (over UDP)
USB-Device	CDC

Блок управления ЭСДУ (устройство балансировки) оказался неэффективным при управлении балансировочными платами аккумуляторной батареи, что повлекло поломку нескольких ееячеек. Это и стало главной причиной разработки новой системы. Теперь функции выполняемые блоком управления ЭСДУ будут выполняться контроллером ПЛК 160.

Это решение позволит не только отслеживать все сигналы в системе, но и в дальнейшем при разработке соответствующих программ позволит усовершенствовать работу комплекса.

#### **4.3 Модуль аналогового ввода**

Модули предназначены для измерения унифицированных аналоговых сигналов встроенными аналоговыми входами, преобразования измеренных величин в значение физической величины и последующей передачи этого значения по сети RS-485.

Предназначается для построения автоматизированных систем сбора данных в различных областях промышленности, сельского и коммунального хозяйства, на транспорте.

Прибор имеет восемь идентичных каналов, обеспечивающих измерения: тока в диапазоне от 4 до 20 мА; тока в диапазоне от 0 до 20 мА; тока в диапазоне от 0 до 5 мА; напряжения в диапазоне от 0 до 10 В. При измерении напряжения входной сигнал масштабируется с помощью резистивного делителя и поступает на вход АЦП, где преобразуется в цифровой код.

Результаты измерения по запросу передаются мастеру сети RS-485. Прибор обеспечивает работу в сети RS-485 по протоколам ModBus (RTU и ASCII), Овен и DCON. Тип протокола определяется автоматически. Конфигурирование прибора поддерживается по протоколам ModBus (RTU и ASCII) и Овен.

Аналоговая часть измерительного канала обеспечивает: преобразование тока в напряжение с помощью встроенного резистора; фильтрацию входного сигнала RC-фильтром низкой частоты; усиление сигнала с выхода резистора, выполняющего преобразование тока в напряжение; выбор и подачу на вход АЦП одного из полученных сигналов (напряжение, сигнал с резистора, преоб-

разующего ток в напряжение, выход прецизионного усилителя); преобразование сигнала соответствующего диапазона в цифровой код.

При измерении напряжения входной сигнал с входных клемм через фильтр нижних частот поступает на мультиплексор.

Особенностями представленного модуля являются: индивидуальная конфигурация для каждого входа; диагностика состояния подключенных аналоговых датчиков; автоматическое определение протокола; универсальное питание =24 В или ~230 В; обновление встроенного программного обеспечения по RS-485[7].

А в таблице 9 представлены основные технические характеристики модуля аналогового ввода MB110-224.8АС.

Таблица 9 – Технические характеристики модуля аналогового ввода MB110-224.8АС.

Входы аналоговые	8 AI
Тип поддерживаемых сигналов	Унифицированные сигналы: 0...5мА, 0(4)...20мА, 0...10 В
Напряжение питание	~90...264В (номинальное ~230 В)
Напряжение встроенного источника	=24±3 В
Интерфейс	RS-485
Поддерживаемые протоколы	ModBus RTU; ModBus ASCII; OВЕН DCON
Скорость обмена по RS-485	2400...115200 бит/с

Необходимость использования представленного модуля при разработке новой системы заключается в сокращении количества используемых входов на ПЛК для измерения значения напряжения на восьми ячейках аккумулятора, с последующей передачей данных в контроллер по сети RS-485.

Данный модуль полностью соответствует предъявляемым к нему требованиям.

#### **4.4 LogicMachine4**

LogicMachine стал одним из первых контроллеров для систем автоматизации, в котором были применены технологии ИТ- отрасли. Контроллер пред-

ставляет собой программно-аппаратный комплекс, включающий в себя промышленный веб-сервер со встроенной средой разработки приложений.

Компания EmbeddedSystems является разработчиком и производителем данного оборудования, программно-аппаратных решений для систем автоматизации зданий, управления транспортом и мультимедийных систем Hi-End класса.

Основная разработка продукции происходит в центральном офисе города Рига, Латвия.

Область продаж компании охватывает практически все страны мира — вся Еврозона, Российская Федерация, Казахстан, Китай, Индия, Вьетнам, Австралия, Турция, Колумбия, США, Норвегия и др.

В России продажи начались с 2010 года под брендом EVIKA. С конца 2016 года принято решение о начале поставок под международным брендом EmbeddedSystems.

Устройства серии LogicMachine называют «свободно программируемыми логическими контроллерами». Это означает, что они не имеют фиксированных встроенных алгоритмов работы, а могут быть запрограммированы под требуемую логику проекта. Это позволяет реализовывать на них любые схемы взаимодействия, но также требует обязательного программирования. Можно сказать, что это компактная универсальная вычислительная система, способная выполнять любые задачи пользователя.

Среди ключевых особенностей продукта является поддержка традиционных протоколов и стандартов систем автоматизации, включая KNX, BACnet/IP, Modbus, DMX512 и DALI.

Решения LogicMachine являются очень гибкими.

Для начала работы с контроллером достаточно подключить его в локальную сеть и к питанию. Даже в таком минимальном варианте, система способна на многое. Но, безусловно, в реальных проектах требуется обеспечить работу с датчиками и исполнительными устройствами. Большинство операций с контроллером осуществляется через веб-интерфейс. Заметим, что по умолчанию и

после сброса настроек устройство имеет сетевой адрес 192.168.0.10, так что вам нужно будет убедиться, что параметры сети позволяют получить доступ к устройству или же временно изменить адрес компьютера и потом поменять сетевые настройки LM. Доступ к интерфейсу защищен паролем. Имеется поддержка HTTPS с самоподписанным сертификатом. Для интерфейса предусмотрена возможность работы с несколькими языками на выбор. В текущем релизе прошивки есть только английский и русский. Встроенная справочная система предоставляет базовую информацию о работе со скриптами. К сожалению, контекстной справки здесь нет[8].

Необходимость данного контроллера при разработке новой системы заключается в том, что датчики температуры, которые используются в лабораторном комплексе марки DS18B20, на АКБ и двигателях передают свой сигнал через интерфейс 1-Wire.

Суть этого интерфейса заключается в том, что передача данных в обе стороны происходит по одному проводу.

У каждой микросхемы датчика DS18B20 есть уникальный серийный 64 – разрядный код, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. Таким образом, через один порт контроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, находящимися на значительном расстоянии.

Данный контроллер удобен тем, что он не только оснащен протоколом интерфейса 1-Wire, но и осуществляет обмен данными по протоколу ModBus, что позволяет подключить его к ПЛК, через интерфейс RS-485.

В таблице 10 представлены технические характеристики контроллера LogicMachine 4.

Таблица 10 – Технические характеристики контроллера LogicMachine 4.

Параметр	Значение
Интерфейсы	Количество
Ethernet 10/100,	1
USB 2.0	2
KNX/TP	1

RS-485	3
DALI	1
1-Wire	1
CEC	1
IR (Out)	1
Поддержка стандартов и протоколов	
По порту Ethernet: HTTP, FTP, KNXnet/IP, BACnet/IP, SIP/IP, NTP.	Да
По порту RS-485: Modbus, DMX, Ekey, Расширители 03) ввода-вывода EVIKA.	Да
Через дополнительные устройства USB:EnOcean, 1-Wire, GSM/GPRS(SMS).	Да
Питание	
Допустимое рабочее напряжение:	10...30 V
Потребляемая мощность, не более	2 W

#### 4.5. Выбор элементов схем балансировки и сопряжения

##### 4.5.1 Транзистор 2Т904Б

На базе транзистора разработаны новые балансировочные платы. Они работают по принципу разряда ячеек на балластное разрядное сопротивление.

Это достигается за счет управляющего воздействия на базу транзистора, который работает в ключевом режиме в цепи разрядного сопротивления. Более подробная информация представлена в п.4.8. В таблице 11 представлены технические характеристики транзистора 2Т904Б[9].

Таблица 11 – Технические характеристики транзистора 2Т904Б.

Параметр	Значение
Структура транзистора	n-p-n
постоянная рассеиваемая мощность коллектора с теплоотводом, Вт	7
максимальное напряжение коллектор-эмиттер при заданном токе коллектора и заданном сопротивлении в цепи база-эмиттер, Вт	65

максимальное напряжение эмиттер-база при заданном обратном токе эмиттера и разомкнутой цепи коллектора, Вт	4
максимально допустимы постоянный ток коллектора, А	0,8
статический коэффициент передачи тока транзистора для схем с общим эмиттером	не более 10

#### 4.5.2 Резисторы

В проекте использованы токоограничивающие резисторы таких устройств как оптрон и транзистор.

Резисторы выбраны с учетом произведенных расчетов в п.4.6 и 4.8.

Все значения сопротивлений резисторов принятые в этих пунктах выбраны в соответствии с ГОСТ 28884-90 «Ряды предпочтительных значений для резисторов и конденсаторов» [10, 11].

В таблице 12 представлены технические характеристики резисторов.

Таблица 12 – Технические характеристики резисторов.

Марка резистора	Номинальное сопротивление, Ом	Номинальная мощность, Вт
МО-200(С2-23)	6.2	2
CF-25 (С1-4)	47	0,125/0,25 Вт
CF-25 (С1-4)	10	0,125/0,25
CF-25 (С1-4)	27	0,125/0,25
CF-25 (С1-4)	240	2

#### 4.5.3 Оптрон СNY17-3

Оптрон (оптопара) – это электронный прибор, состоящий из излучателя света – светодиода и фотоприёмника, в качестве которого выступает биполярный транзистор. Два этих устройства связаны оптическим каналом и объединены в общий корпус.

Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в световой сигнал.

свет, его передача по оптическому каналу и последующем преобразовании обратного электрического сигнала.

Оптроны используются для гальванической развязки цепей — передачи сигнала без передачи напряжения, для бесконтактного управления и защиты.

В работе использование оптрона объясняется тем, что датчики Холла, которые используются в качестве датчика положения ротора электродвигателя, так же могут измерять его скорость.

После каждого оборота двигателя получаем импульс, который можно считать за один оборот. Таким образом, можно измерять скорость по числу импульсов в минуту.

Таким образом, датчик Холла выдает импульс, поступающий на оптрон. Светодиод, который он содержит, загорается и происходит передача этого импульса уже на транзистор, который в свою очередь передает его на дискретный вход контроллера ПЛК.

В таблице 13 представлены технические характеристики оптрона CNY17-3[12].

Таблица 13 – Технические характеристики оптрона CNY17-3.

Параметр	Зарядное устройство SPS 3610
Выходное напряжение, В	1,65
Выходное максимальное напряжение, В	70
входной максимальный ток, мА	60
выходной максимальный ток мА	100

#### **4.6 Подключение контроллеров управления ВАС 0501.**

Контроллер управления нагрузочным двигателем М1 подключается к источнику питания 24 вольта и оснащен датчиками Холла. К нему подключены кнопка включения нагрузочного двигателя SB1, тумблер реверса SB2 и ручка регулирования скорости R1.



Выведенные клеммы трех фаз (U, V, W) и датчиков Холла (H+, H-, Ha, Hb, Hc) тягового двигателя позволяют подключить его к контроллеру управления тяговым двигателем.

На рисунке 11 представлена схема подключения контроллера управления нагрузочным двигателем M1.

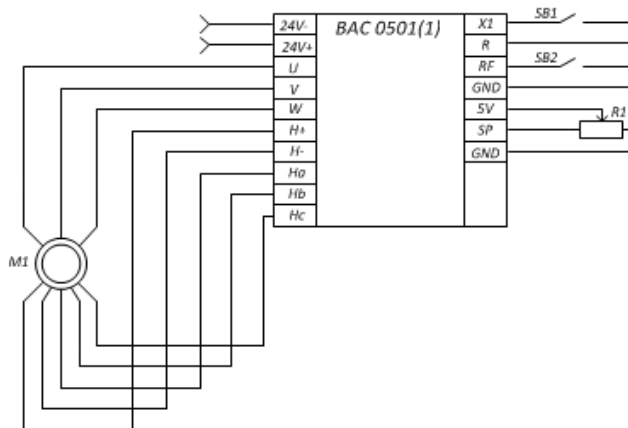


Рисунок 11 –Схема подключения контроллера управления нагрузочным двигателем M1.

Контроллер управления тяговым двигателем M2 так же подключается к источнику питания 24 вольта.

Для включения тягового двигателя M2, предусмотрена кнопка SB3. Для управления тяговым двигателем используется ручка регулирования скорости R2, тумблер реверса SB4, и кнопка рекуперативного торможения SB5.

Контроллер имеет три силовые клеммы зеленую, желтую и синюю (U, V, W), для подключения обмоток двигателя в соответствии с цветом фаз.

Так же контроллер обладает пятью информационными клеммами для подключения датчиков Холла тягового двигателя в соответствии с цветами, красный и черный – плюс и минус (H+, H-) соответственно, желтый, зеленый и синий – сигнал с ДХ1, ДХ2 и ДХ3 (Ha, Hb, Hc).

На рисунке 12 представлена сема подключений контроллера управления тяговым двигателем M2.

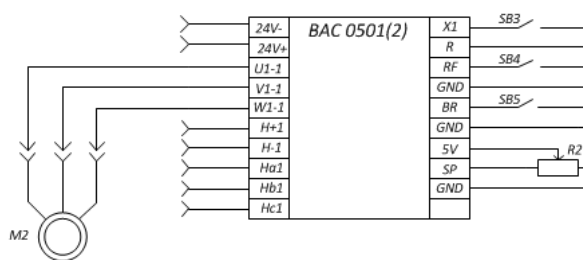


Рисунок 12 –Схема подключения контроллера управления тяговым двигателем М2.

Опытным путем при помощи осциллографа была определена форма сигналов датчиков Холла. Датчики Холла работают в импульсном режиме. В связи с этим удобней считывать сигнал с датчиков через дискретные входы ПЛКDI1, Di2 иDI3 . Поэтому для сопряжения датчиков Холла с ПЛК была использована оптопара, принцип работы которой заключается в том, что при появлении импульса между Н- и На (Нб, Нс) светодиод загорается и открывается фототранзистор, тем самым передавая сигнал на дискретные входы ПЛК. Амплитуда составляет 2.6 вольта, а максимальная частота 100 Гц.

На рисунке 13 представлена схема гальванической развязки.

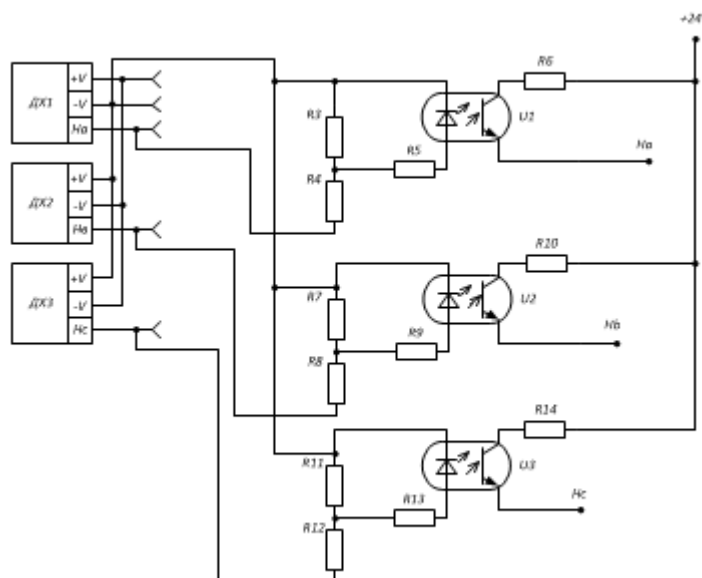


Рисунок 13 –Схема гальванической развязки.

Необходимо рассчитать токоограничивающий резистор оптопары. Для этого стоит учесть, что сигнал приходящий с датчиков Холла равен 2.6 вольт, а

напряжение контроллера (ПЛК) к которому подключен вывод оптопары 24 вольта.

Так как входное напряжения оптопар находится в диапазоне от 1 до 2 вольт, а напряжение с датчиков Холла равно 2.6. применим делитель напряжения, состоящий из двух последовательно соединенных резисторов.

Делитель напряженияиспользуют для уменьшения значения входного напряжения на резисторах.

Применим делитель напряжения, состоящий из двух одинаковых резисторов равных 10 Ом.

Воспользуемся законом Ома, формула 4.6.1.

$$U_{вх} = I_{вх} \cdot R_{общ}; \quad (4.6.1)$$

Где  $U_{вх}$  – входное напряжение (напряжение с датчика Холла), В;

$I_{вх}$  – входной ток, протекающий в цепи делителя напряжения, А;

$R_{общ}$  – сумма сопротивления делителя напряжения, Ом.

Используя данный закон, найдет ток, протекающий вцепи делителя напряжения по формуле 4.6.2.

$$I_{вх} = \frac{U_{вх}, В}{R_3 + R_4, Ом}; \quad (4.6.2)$$

$$I_{вх} = \frac{2.6}{10+10} = 0,13А. \quad (4.6.3)$$

Рассчитаем мощность резисторов по формуле 4.6.4.

$$P_{3,4} = I_{вх}^2 \cdot R_{3,4}, Вт; \quad (4.6.4)$$

Где  $P_{3,4}$  – мощность резистора, Вт;

$I_{вх}$  – входной ток, протекающий в цепи делителя напряжения, А;

$R_{3,4}$  – сопротивление делителя напряжения, Ом.

$$P_{3,4} = 0,13^2 \cdot 10 = 0,17Вт. \quad (4.6.5)$$

Найдем выходное напряжение, протекающее в этой цепи по формуле 5.1.6.

$$U_{вых} = U_{вх} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}, В; \quad (4.6.6)$$

Где  $U_{\text{ВЫХ}}$  – выходное напряжение, протекающее в цепи делителя напряжения, В;

$U_{\text{ВХ}}$  – входное напряжение (напряжение с датчика Холла), В;

$R_3$  и  $R_4$  – сопротивление делителя напряжения, Ом.

$$U_{\text{вых}} = 2.6 \cdot \frac{10}{10+10} \cdot 1.3 \text{ В}. \quad (4.6.7)$$

Далее рассчитаем токоограничивающий резистор  $R_5$  по формуле 4.6.8.

$$R_5 = \frac{U_{\text{вых}}, \text{ В}}{I_{\text{вхоп}}, \text{ А}}, \text{ Ом}; \quad (4.6.8)$$

Где  $R_5$  – токоограничивающее сопротивление оптопары, Ом;

$U_{\text{ВЫХ}}$  – выходное напряжение протекающее в цепи делителя напряжения, В;

$I_{\text{вхоп}}$  – входной максимальный ток оптопары, А.

$$R_5 = \frac{1.3}{0.06} = 26.6 \text{ Ом}. \quad (4.6.9)$$

В соответствии с номинальным рядом сопротивлений сопротивление резистора принято 24 Ом.

Мощность резистора рассчитывается по формуле 4.6.4.

$$P_5 = 0.06^2 \cdot 26.6 = 0,097 \text{ Вт}. \quad (4.6.10)$$

Расчет резистора  $R_6$  происходит аналогично расчету резистора  $R_5$ .

$$R_6 = \frac{U_{\text{вх1}}, \text{ В}}{I_{\text{выхоп}}, \text{ А}}, \text{ Ом}; \quad (4.6.11)$$

Где  $R_6$  – сопротивление, Ом;

$U_{\text{ВХ1}}$  – входное напряжение контроллера (ПЛК), В;

$I_{\text{ВЫХОП}}$  – выходной максимальный ток оптопары, А.

$$R_6 = \frac{24}{0.1} = 240 \text{ Ом}. \quad (4.6.12)$$

В соответствии с номинальным рядом сопротивлений сопротивление резистора принято 240 Ом.

Мощность рассчитывается по формуле 4.6.4.

$$P_6 = 0.1^2 \cdot 240 = 2.4 \text{ Вт}. \quad (4.6.10)$$

Данный расчет производился для одной оптопары, но так как в схеме их три и они одинаковые, то сопротивления резисторов будет тоже одинаковым.

Необходимые значения напряжений и токов оптопары взяты из технических характеристик в п.4.

#### 4.7 Подключение тензодатчика

Для определения момента на валу тягового двигателя используется тензодатчик ВСА-10.

На рисунке 14 представлена схема подключения тензодатчика.

Входами  $E_{x+}$  и  $E_{x-}$  датчик подключается к источнику питания 12 вольт. Входы  $Sig+$  и  $Sig-$  являются информационными [13]. По ним передается сигнал о моменте с датчика на аналоговые входы  $AI+$  и  $AIСПЛК$ .

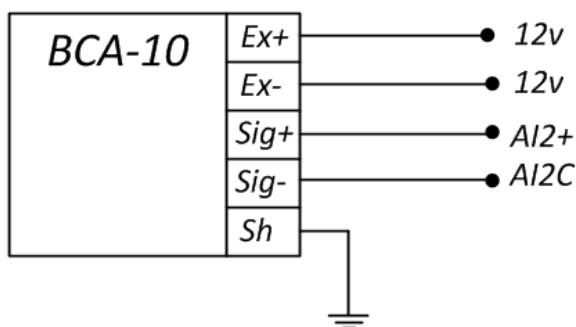


Рисунок 14 –Схема подключения тензодатчика.

#### 4.8 Подключение АКБ

Восемь ячеек АКБ собраны последовательно в один комплекс, который в сумме дает напряжение питания 30 вольт, что позволяет запускать двигатели.

В процессе эксплуатации на каждой батарее происходит непрерывное измерение напряжения и температуры каждой ячейки, путем сравнения заряда между отрицательным потенциалом первой ячейки и положительным – последующей. Таким образом, балансирующая плата будет разряжать ячейку на балластное сопротивление, за счет подачи управляющего воздействия на базу транзистора, который работает в ключевом режиме в цепи разрядного сопротивления.

Управляющее воздействие вырабатывается исходя из анализа измеряемого напряжения на АКБ. То есть, когда оно превышает определенной уставки

скрытый выход DO2 контроллера (ПЛК) замыкает катушку реле K2, что в свою очередь приводит к замыканию контакта в цепи коллектор база транзистора. На базе появляется необходимый отрицательный потенциал и транзистор открывается. В этом случае будет работать цепь на разрядное сопротивление.

При перегреве ячейки батареи отключаются от источника питания с помощью электромагнитного пускателя KM1.

На рисунке 15 представлена схема подключения ячейки двух ячеек АКБ.

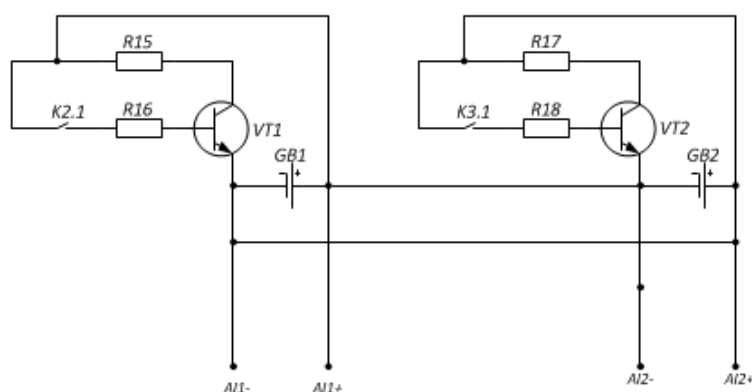


Рисунок 15 –Схема подключения ячейки двух ячеек АКБ.

Для того чтобы правильно выбрать токоограничивающий резистор для транзистора, необходимо произвести небольшой расчет.

Во-первых, сопротивления резистора R11 равно 6 Ом. Это значение было выявлено опытным путем, а так же подтверждается путем математического расчета параллельного соединения резисторов.

По формуле 4.8.1 рассчитаем общее балластное сопротивление ячейки аккумулятора.

$$R_{общ} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n, \text{ Ом}}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n, \text{ Ом}}; \quad (4.8.1)$$

Где  $R_{общ}$  – общее балластное сопротивление ячейки аккумулятора, Ом;

$R_{1-n}$  – балластные сопротивления ячейки аккумулятора, Ом.

$$R_{общ} = \frac{470 \cdot 470 \cdot 470 \cdot 470 \cdot 470 \cdot 470 \cdot 470 \cdot 470}{470 + 470 + 470 + 470 + 470 + 470 + 470 + 470} = 6.3 \text{ Ом}. \quad (4.8.2)$$

Значение балластного сопротивления в схеме АКБ будет одинаково и равно 6.2 Ом в соответствии с номинальным рядом сопротивлений резисторов.

Так как напряжение на каждой ячейке аккумулятора составляет 3.7 вольта, то по формуле 4.8.3 рассчитаем силу тока протекающего в цепи балластного сопротивления. Это так же необходимо при выборе транзистора, потому что если выбрать транзистор с током коллектора меньше рассчитанного, то произойдет пробой – транзистор выйдет из строя.

$$I = \frac{U, В}{R_{общ}, Ом}; \quad (4.8.3)$$

Где  $U$  – напряжение на ячейке аккумулятора, В;

$R_{общ}$  – общее сопротивление ячейки аккумулятора, Ом

$I$  – сила тока протекающая в цепи балластного сопротивления, А.

$$I = \frac{3.7}{6} = 0.6 А. \quad (4.8.4)$$

Итак, необходимо выбрать транзистор с током коллектора 0.6 А, но из соображений надежности стоит выбрать его с небольшим запасом, примерно 0.8 А.

Во-вторых, рассчитаем ток базы, который нужно создать для обеспечения тока коллектора 0.8 А.

Ток коллектора связан с током базы по формуле 4.8.5.

$$I_k = I_b \cdot h_{21э}, А; \quad (4.8.5)$$

Где  $I_k$  – ток коллектора транзистора, А;

$I_b$  – ток базы транзистора, А;

$h_{21э}$  – статический коэффициент передачи тока транзистора.

Исходя из характеристик выбранного транзистора статический коэффициент передачи тока транзистора составляет не более 10.

Из формулы 5.5 выразим ток базы  $I_b$ , формула 4.8.6.

$$I_b = \frac{I_k}{h_{21э}}, А; \quad (4.8.6)$$

$$I_b = \frac{0.8}{10} = 0.08 А. \quad (4.8.7)$$

После произведенных расчетов можно рассчитать сопротивление токоограничивающего резистора и его мощность по формуле 4.8.8 и 4.8.9.

$$R_{12} = \frac{U, B}{I_6, A}; \quad (4.8.8)$$

$$P = I_6^2 \cdot R_{12}, Bm; \quad (4.8.9)$$

Где  $U$  – напряжение на ячейке аккумулятора, В;

$I_6$  – ток базы транзистора, А;

$R_{12}$  – токоограничивающее сопротивление, Ом;

$P$  – мощность, Вт.

$$R_{12} = \frac{3,7}{0,08} = 46,25 \text{ Ом}. \quad (4.8.10)$$

Значение сопротивления принято равным 47 Ом.

$$P = 0,08^2 \cdot 46,25 = 0,3 \text{ Вт}. \quad (4.8.11)$$

Рассчитанные значения транзисторов и резисторов одинаковы во всех цепи АКБ.

Все значения токов и напряжений и коэффициентов взяты в п.4.

#### **4.9 Подключение зарядного устройства**

Для того чтобы зарядить аккумуляторные батареи необходимо использовать зарядное устройство.

Для заряда батарей необходимо включить зарядное устройство, выставить напряжение из расчета количества аккумуляторов умноженных на напряжение балансировки. Потенциометром выставить максимальный ток заряда (10А). В начале, устройство будет работать в режиме стабилизации по току, пока значение напряжения на дисплее зарядного устройства не станет равным ранее выставленному, после чего включиться режим стабилизации по напряжению и ток заряда постепенно начнет уменьшаться.

Так же стоит учесть, что заряд аккумуляторов происходит от зарядного устройства через амперметр.

На рисунке 16 представлена схема подключения зарядного устройства.

К входам Li N поддается питание сети (220 В). К входу V- подключается амперметр через аналоговый вход AI1С, находящийся на ПЛК, амперметр под-



ключен к «минусу» первой ячейки АКБ, а вход V+ подключен к «плюсу» последней ячейки АКБ.

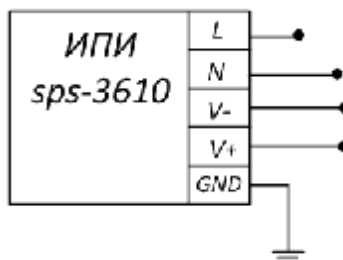


Рисунок 16 –Схема подключения зарядного устройства.

#### 4.10 Подключение модуля аналогового ввода

Для измерения напряжения на каждом аккумуляторе используется модуль аналогового ввода.

На рисунке 17 представлена схема подключения модуля аналогового ввода.

Данные от модуля к ПЛК передаются по сети RS-485 (входы А и В). К аналоговым входам AI1+ – AI85+ для передачи информации о значении напряжений подключаются восемь ячеек АКБ.

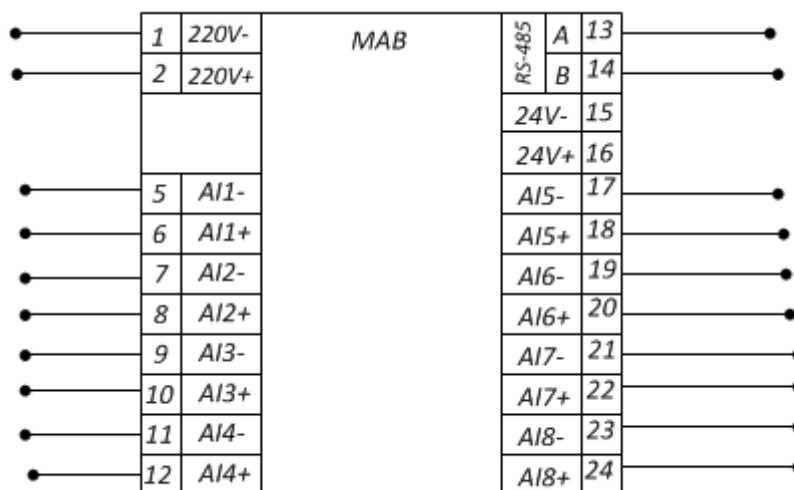


Рисунок 17 –Схема подключения модуля аналогового ввода.

#### 4.11 Подключение LogicMachine4

Как выше описывалось, датчики температуры обмениваются данными с контроллером по однопроводной линии связи используя протокол интерфейса 1-Wire [14].

На рисунке18 представлена схема подключения датчиков температуры к контроллеру.

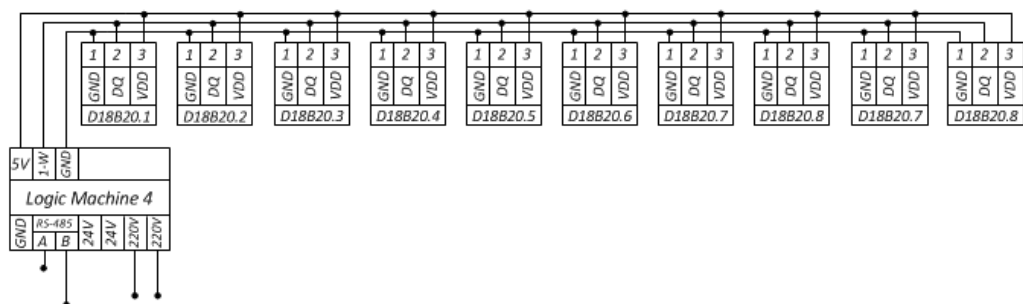


Рисунок 18–Схема подключения модуля аналогового ввода.

Датчики подключены к выводу питание 5 вольт. По одной линии связи по протоколу интерфейса 1-Wire поступает сигнал о температуре на ячейках АКБ и двигателях, который через интерфейс RS-485 передается на ПЛК.

#### 4.12 Подключение блока питания NES-350-24V

Как выше было сказано к блоку питания 24 вольта подключаются контроллеры управления нагрузочным и тяговым двигателями (V+, V-). Сам блок питания подключен к питанию сети [15].

На рисунке 19 представлена схема подключения блока питания24 вольта.

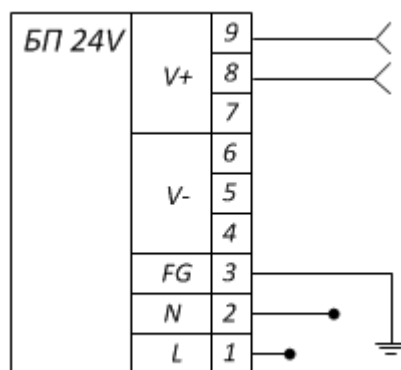


Рисунок 19 –Схема подключения блока питания24 вольта.

#### 4.13 Подключение блок питания RS-15-12V

К входам Li и N поддается питание сети, к входам V-и V+ подключены 3 светодиода VD2, VD3 и VD4. На стенде их роль выполняет светодиодные ленты, подсвечивающие специальное смотровое окно силовой установки (двигателей). Как было сказано выше, к данному блоку питания подключается тензодатчик(Ex-, Ex+) [16].

На рисунке 20 представлена схема подключения блока питания 12 вольт.

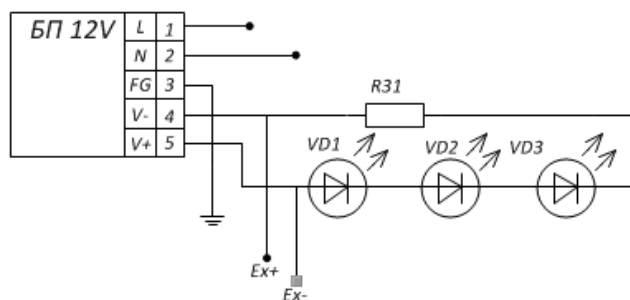


Рисунок 20 –Схема подключения блока питания 12 вольт.

#### 4.14 Подключение программируемого логического контроллера ПЛК

160

Все описанное выше оборудование подключается к ПЛК.

Входами 1 и 2 ПЛК подключается к питанию сети. К дискретным входам DI1, DI2 и DI3 подключена гальваническая развязка – оптопара. Как описывалась ранее, она необходима для распознавания сигналов поступающих с датчиков Холла. К аналоговым входам AI2 и AI3 подключен тензодатчик, который передает сигнал с двигателя о моменте.

Через интерфейс RS-485 идет обмен данными с модулем аналогового ввода (сигнал о значении напряжений на АКБ) и контроллера LogicMachine 4 (сигнал с датчиков температуры на АКБ). Электромагнитный пускатель, подключенный к входам COM1 и DO1, необходим для отключения АКБ при перезаряде. Работа реле К2 и К3 описана в п 4.3. Таких реле в схеме 8, по одному на каждую ячейку АКБ, они подключены к дискретным входам контроллера (ПЛК).

На рисунке 21 представлена схема подключения элементов лабораторного комплекса к ПЛК.

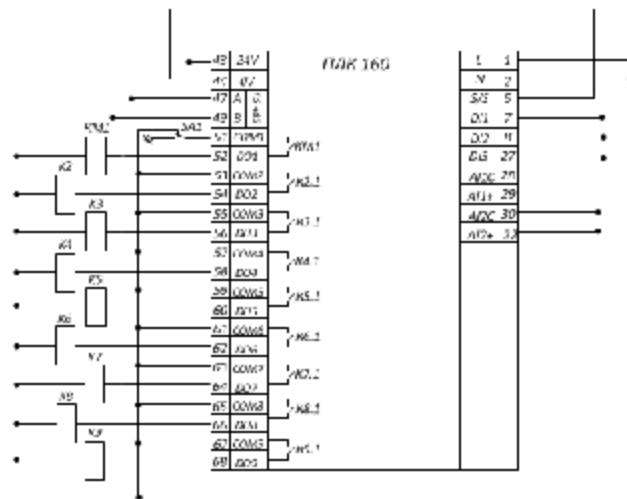


Рисунок 21 –Схема подключения элементов лабораторного комплекса к ПЛК.

Таким образом, при использовании дополнительно оборудования, удалось спроектировать новую систему.

Сигналы, обрабатываемые устройством балансировки, теперь обрабатывает ПЛК.

Функции и задачи, выполняемые платой балансировки, выполняет схема собранная на базе транзистора. Управление на нее поступает с ПЛК.

Полная принципиальная электрическая схема представлена в Приложении Д.

## 5 Безопасность и экологичность лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»


### 5.1 Безопасность

В данном лабораторном комплексе объектами, которые могут стать причиной травмирования студента являются движущиеся предметы, такие как двигатели BLDC (бесщеточный мотор постоянного тока) типа BLT; нагретые элементы оборудования, такие как корпуса оборудования; электрический ток, источником поражения которого могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, не заземленное оборудование и др.

Все выше перечисленное оборудование находится внутри каркаса стенда, и надежно закрыто крышкой. Каркас стенда состоит из металлической рамы, изготовленной из квадратного профиля и окрашенной порошковой краской.

Однако электрический ток остается основным источником опасности для жизни и здоровья человека.

Воздействие электрического тока проявляется в виде электрической травмы (возникает местное повреждение организма), и электрического удара (ток вызывает раздражение и возбуждение тканей, сопровождающиеся непроизвольными судорожными сокращениями мышц). Так же характерными видами электрических травм являются электрические ожоги.

Лабораторный комплекс имеется знак  - «Существует опасность поражения электрическим током».

Для того чтобы максимально снизить вероятность поражения человека электрическим током, помещение в котором находится лабораторный комплекс должно соответствовать 1 группе помещений по степени опасности поражения электрическим током в соответствии с ПУЭ.

Для данной группы характерно:

работа при нормальной температуре и влажности (помещение должно быть сухим – влажность не более 60%);

напольное покрытие изготовлено из не токопроводящих материалов – линолеум;

в воздухе и на поверхности не присутствует токопроводящая пыль;

большая площадь помещения – 50 м<sup>2</sup>;

допускается работа с электроаппаратами напряжением 0.23 кВ (230 В).

Сам лабораторный комплекс оснащен автоматическим выключателем. Он используется в качестве аппарата защиты от поражения электрическим током.

Автоматический выключатель контролирует силу тока в цепи. Его задачей является не допустить возникновения сверхтоков, сила которых превышает значение, максимально допустимое для данной проводки. На практике такая ситуация может произойти при подключении слишком высокой нагрузки или вследствие короткого замыкания. Сила тока в контролируемой автоматом цепи увеличивается, и, когда она доходит до критического значения, устройство мгновенно обесточивает проблемный участок сети.

Так же стоит заметить, что лабораторный комплекс работает от напряжения 220 вольт и частоты сети 50 Гц.

Данная частота является промышленной. Длительное воздействие электромагнитного поля промышленной частоты приводит к расстройствам в головном мозге и центральной нервной системе.

Электробезопасность лабораторного комплекса должна отвечать ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда» [17].

## **5.2 Экологичность**

Данный лабораторный комплекс не наносит вреда окружающей среде, так как при работе с ним не используются агрессивные жидкости, такие как химические соединения, растворы и смеси (масла, кислоты, щелочи и т.д.), способные разрушить различные материалы, а также вызвать химическое повреждение кожных покровов и слизистых оболочек у людей. Так же комплекс не имеет отходов.

### 5.3 Чрезвычайные

Основной чрезвычайной ситуацией при работе с лабораторным комплексом является его возгорание (пожар).

Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Причинами возни возникновения пожара могут являться: неисправность нагревательного оборудования; наличие огнеопасных, взрывчатых веществ вблизи возникшего возгорания; короткое замыкание; перегрузки; несоблюдение мер предосторожности.

Лабораторный комплекс находится в помещении здания, которого относится к классу пожарной безопасности Ф4 (учебные заведения, научные и проектные организации и т.д.). Каждое помещение должно быть оснащено средствами пожаротушения/

Помещение должно отвечать нормам пожарной безопасности в соответствии со сводом правил системы пожарной защиты СП 5.13.130.2009 и санитарным правилам и нормам по СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» [18, 19].

Помещение должно обладать автоматическими установками пожаротушения АУП в соответствии со сводом правил СП 5.13.130.2009 [18].

АУП бывают водяного и пенного типа. Так как помещение относится к первой группе пожарной безопасности и его площадь составляет 50 м<sup>2</sup>, максимальное расстояние между спринклерными оросителями составляет 4 метра, расстояние от стены до АУП не менее 2 метров, а продолжительность подачи воды не менее 30 минут.

В анализируемом помещении имеется 2 датчика пожаротушения, они находятся на расстоянии 4 метров друг от друга и 2 метров от стены.

Так же помещение оснащено огнетушителем, что соответствует нормам пожарной безопасности. Максимальное расстояние от места размещения огнетушителя до возможного очага возгорания оставляется 20 м для общественных зданий (помещений).

В помещении размещены таблички с номером телефона пожарной охраны.

Выполнение каких-либо работ на лабораторном комплексе осуществляется в соответствии с требованиями пожарной безопасности к электроустановкам ППБ 01-93 [20].



## Заключение

Основной задачей, поставленной вначале работы, являлась разработка методического обеспечения комплекса с целью его внедрения.

Задача была выполнена не полностью, так как в ходе эксплуатации лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки» часть оборудования, оказалась неработоспособной. В связи, с чем было принято решение о разработке новой системы с использованием уже дополнительного оборудования, при условии сохранения возможностей самого лабораторного комплекса.

Стоит учесть, что до выявления поломки комплекса были сняты и проанализированы электромеханические характеристики тягового двигателя и изучено его рекуперативное торможение.

Остальные задачи, поставленные в ходе выполнения выпускной квалификационной работы такие как: разработка структурной схемы, разработка методического обеспечения путем создания лабораторных работ и разработка принципиальной электрической схема для новой системы были выполнены.

В дальнейшем для эксплуатации комплекса и разработки методического обеспечения необходима разработка программного обеспечения.

## Библиографический список

1. Техническая документация на двигатели BLDC 500W, 650W. Сайт «GoldenMotorUA» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.goldenmotor.com/>. – 1.06.2018.
2. Техническая документация на контроллер ВАС 0501. Сайт «GoldenMotor» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.goldenmotor.com/>. – 1.06.2018.
3. Описание работы литий – железо – фосфатных аккумуляторов. Сайт «Е-Ветерок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-veterok.ru/>. – 7.06.2018.
4. Техническая документация на аккумуляторные батареи ThunderSky. Сайт «Эко Мотрс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecomotors.ru/>. – 7.06.2018.
5. Техническая документация на зарядное устройство SPS 3610. Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 21.03.2018.
6. Техническая документация на программируемый логический контроллер ПЛК 160. Сайт «ОВЕН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru/>. – 1.06.2018.
7. Техническая документация на модуль аналогового ввода. Сайта «ОВЕН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru/>. – 1.06.2018.
8. Техническая документация на свободно программируемый логический контроллер LogicMachine 4. Сайт «embeddedsystems» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logicmachine.net.ru/>. – 3.06.2018.
9. Техническая документация на транзистор 2Т904Б. Сайт «Электроника и Связь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eandc.ru/catalog/>. – 15.06.2018.

10. Техническая документация на резистор МО-200(С2-28). Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 21.06.2018.

11. Техническая документация на резистор CF-25(С1-40). Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 21.06.2018.

12. Техническая документация на оптопару CNY17-3). Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 21.06.2018.

13. Техническая документация на тензодатчик ВСА 10. Сайт «ELITES» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blagoveschensk.smartcode.ru/>. – 3.06.2018.

14. Техническая документация на датчик температуры DS18B20. Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 19.05.2018.

15. Техническая документация на блоки питания NES-350-24. Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 16.05.2018.

16. Техническая документация на блок питания RS-15-12. Сайт «Чип и Дип» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>. – 16.05.2018.

17 ГОСТ 12.2.00.0-75 «Система стандартов безопасности труда».

18 СП 5.13.130.2009 «Свод правил системы пожарной защиты».

19 Санитарные нормы и правила СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

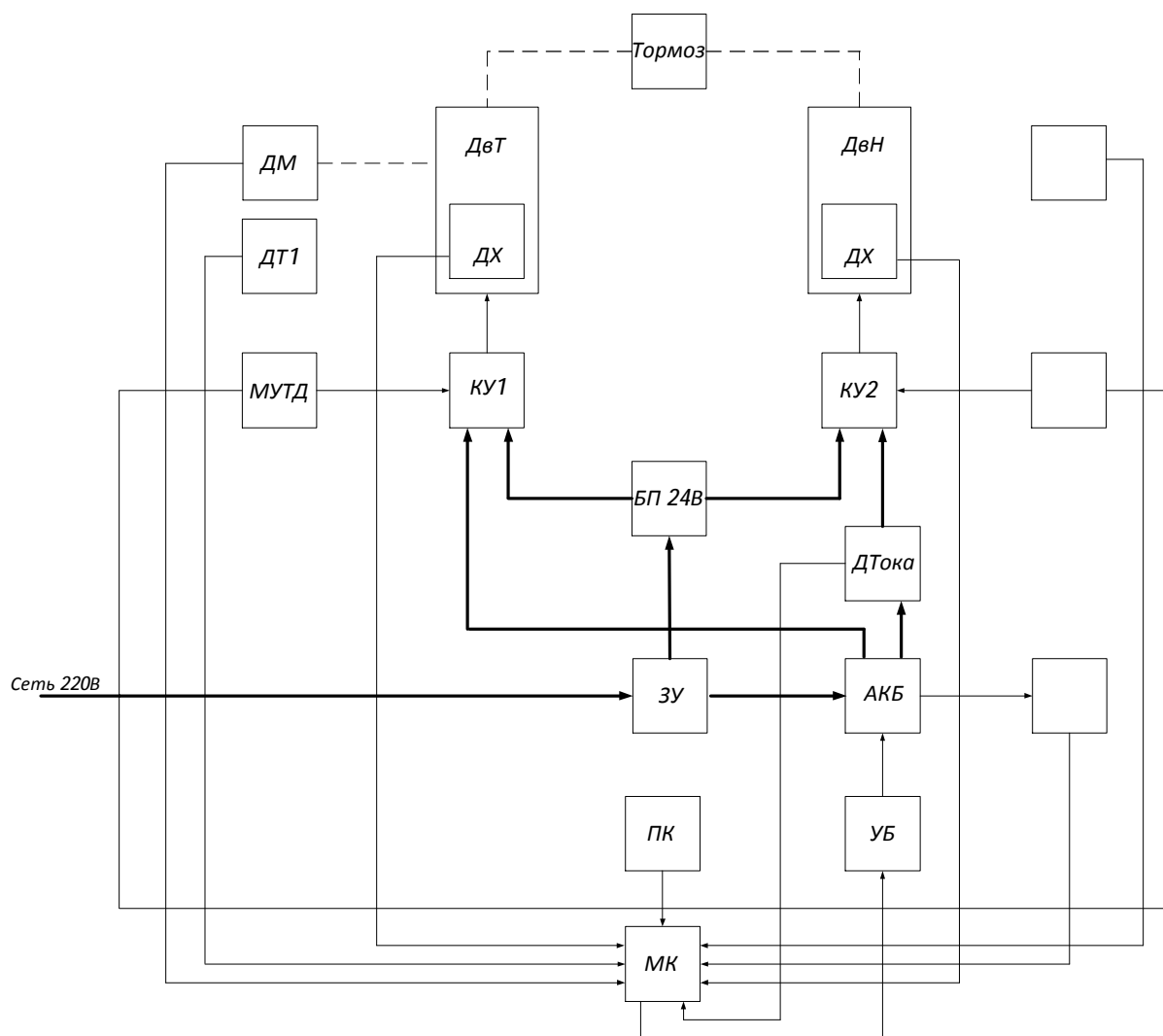
20 Правила пожарной безопасности ППБ-01-93.

21 Техническая документация на контактор КМИ – 35012. Сайт «IEK» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iek.ru/>. – 11.03.2018.

22 Техническая документация на светодиодную ленту PLS 5050/30 IP20. Сайт «jazzway» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jazzway.com/>. – 19.06.2018.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Структурная схема лабораторного комплекса



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Техническое задание на разработку

Техническое задание разработано в соответствии с ГОСТ 19.201-78.

#### **1.3.1 Общие сведения**

Разрабатываемое ТЗ распространяется на Лабораторный комплекс «Электросиловые двигательные установки»

Плановые сроки начала работы по развитию и внедрению лабораторного комплекса: 2.10.2017

Плановые сроки окончания работы по развитию и внедрению лабораторного комплекса: 15.06.2018

#### **1.3.2 Назначение и цели развития системы**

**1.3.2.1 Лабораторный комплекс «Электросиловые двигательные установки» предназначен для:**

Исследований и испытаний базового перечня, существующих и перспективных систем накопления электроэнергии, оптимизации их характеристик, конструкций и характерных особенностей, а также систем управления процессами заряда и разряда с учетом требований энерго и ресурсосбережения, применительно к различным типам энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных средств.

#### **1.3.2.2 Цели развития системы**

Разработка методического обеспечения и внедрение учебно-исследовательского комплекса по электроприводу;

Разработка модернизированной системы на базе ПЛК.

#### **1.3.3 Характеристики объекта**

Исследуемым объектом является электросиловая двигательная установка, представленная в виде стенда каркас которого, состоит из металлической рамы, лицевых панелей из анодированного алюминия с специализированным долговременным нанесением цветного изображения высокой четкости путем цифровой печати и последующей термической обработкой поверхности микросхем.

## Продолжение приложения Б

Габаритные характеристики (Ш×В×Д) 1300×1200×600 мм; максимальная потребляемая мощность 1000 Вт; температура эксплуатации в диапазоне 5-50 °С.

### **1.3.4 Требования к системе**

#### **1.3.4.1 Требования к системе в целом:**

Блок управления ЭСДУ /программируемый логический контроллер должен обеспечить слаженную работу всех элементов системы, путем получения и обработки сигналов, а также выдачи управляющих воздействия на отдельные блоки комплекса.

#### **1.3.4.2 Требования к численности и квалификации персонала системы**

Выполнение любых действий с комплексом должны быть под руководством обученного персонала. Количество одновременно работающих человек с комплексом составляет не более 3.

#### **1.3.4.3 Требования к надежности**

Лабораторный комплекс должен сохранять хорошую работоспособность и не терять своих возможностей при воздействии внешних факторов: ошибки в работе элементов комплекса, сбои в электроснабжении.

#### **1.3.4.4 Требования к безопасности**

Подробная информация представлена в п.6 «Безопасность и экологичность лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»».

#### **1.3.4.5 Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы**

Лабораторный комплекс предназначен для работы в помещении с влажностью не более 60% и температурой не ниже 5°С.

Лабораторный комплекс является разработкой компании «УчтехПрофи». При соблюдении правил эксплуатации в течении гарантийного срока компания обязуется безвозмездно заменять или ремонтировать преждевременно

## Продолжение приложения Б

вышедшие из строя детали и сборочные единицы при условии предоставления акта рекламации с полным обоснованием причин поломки.

### **1.3.5 Состав и содержание работ по развитию системы**

В соответствии с ГОСТ 24.601 в таблице приведены стадии и этапы работы.

Стадии	Этап работы
Изучение лабораторного комплекса.	Разработка структурной схемы и полное описание ее блоков.
Изучение составляющих лабораторного комплекса и его возможностей.	Разработка методического обеспечения.
Проектирование новой, усовершенствованной системы	Разработка структурной и полной принципиальной электрической схемы, работа каждого из блоков.

### **1.3.6 Требования к документации**

Структурная схема лабораторного комплекса;

Электрическая схема лабораторного комплекса;

Графики электромеханических характеристик;

Структурная схема модернизированной системы лабораторного комплекса;

Электрическая схема модернизированной системы лабораторного комплекса;

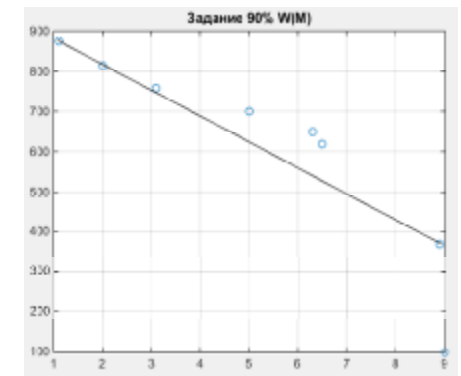
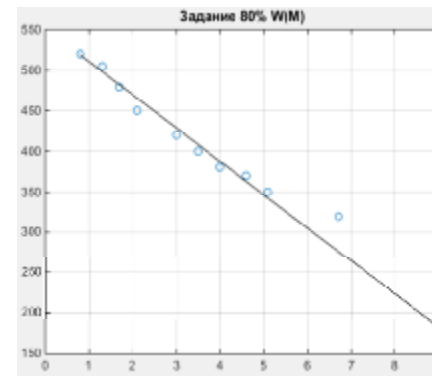
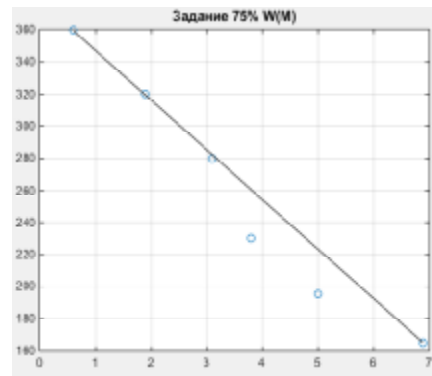
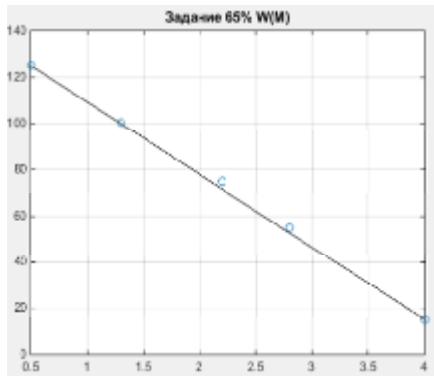
### **1.3.7 Источники разработки**

Полный перечень используемых источников при работе с лабораторным комплексом представлен в разделе «Библиографический список».

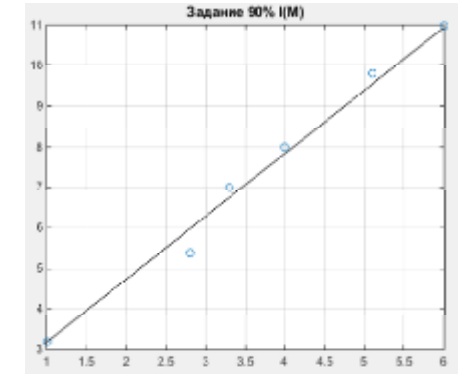
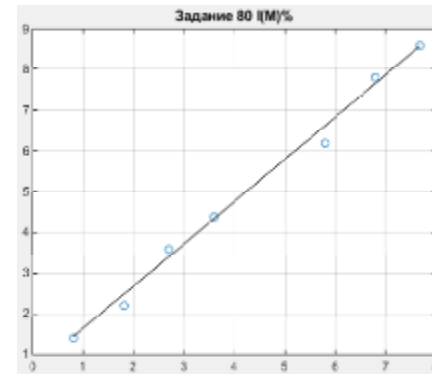
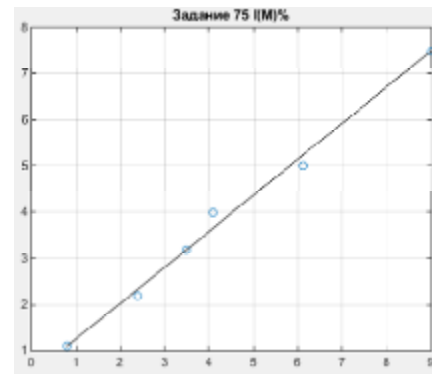
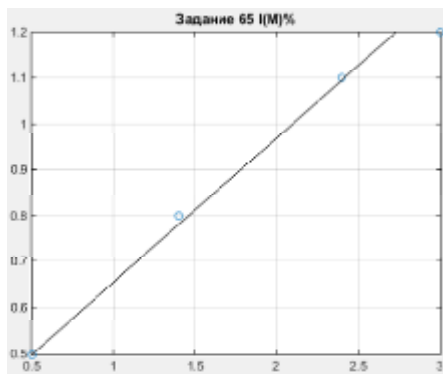
## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Электромеханические характеристики двигателей

#### Механические характеристики



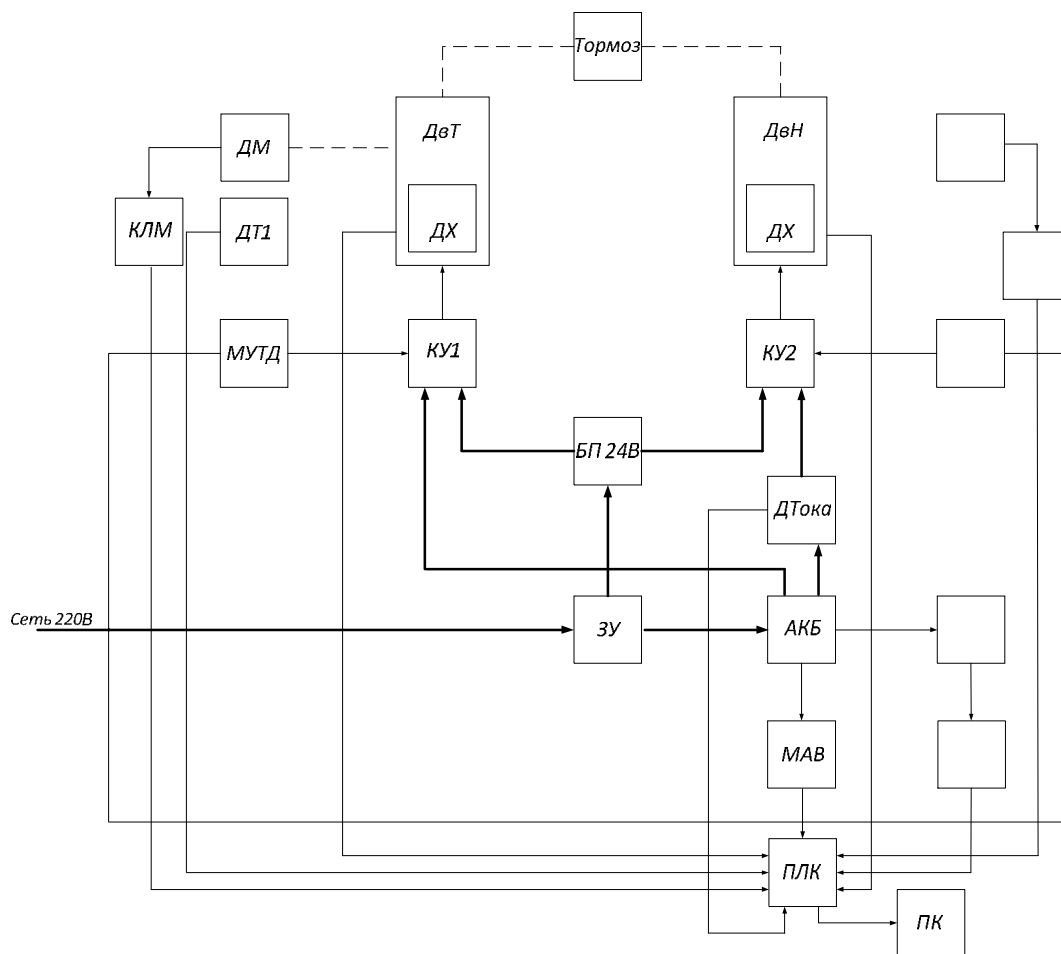
#### Электромеханическая характеристика





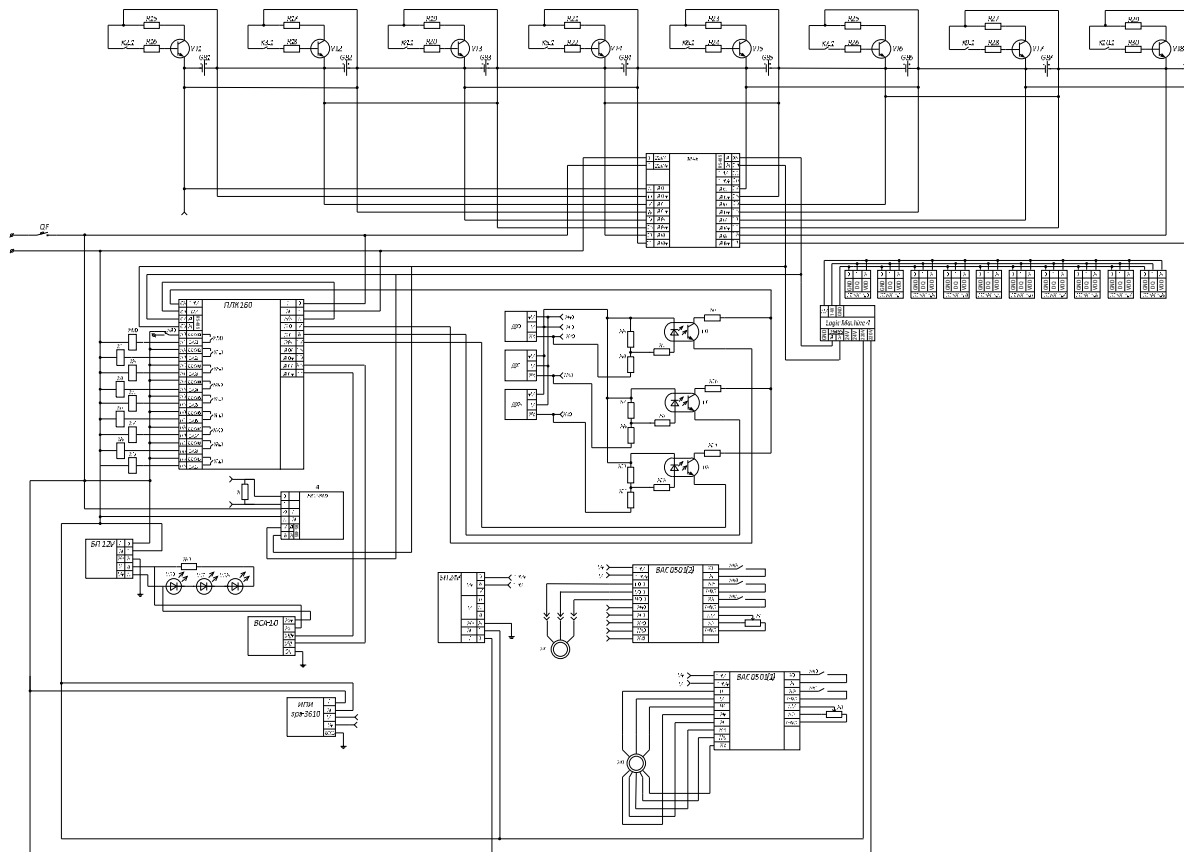
# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

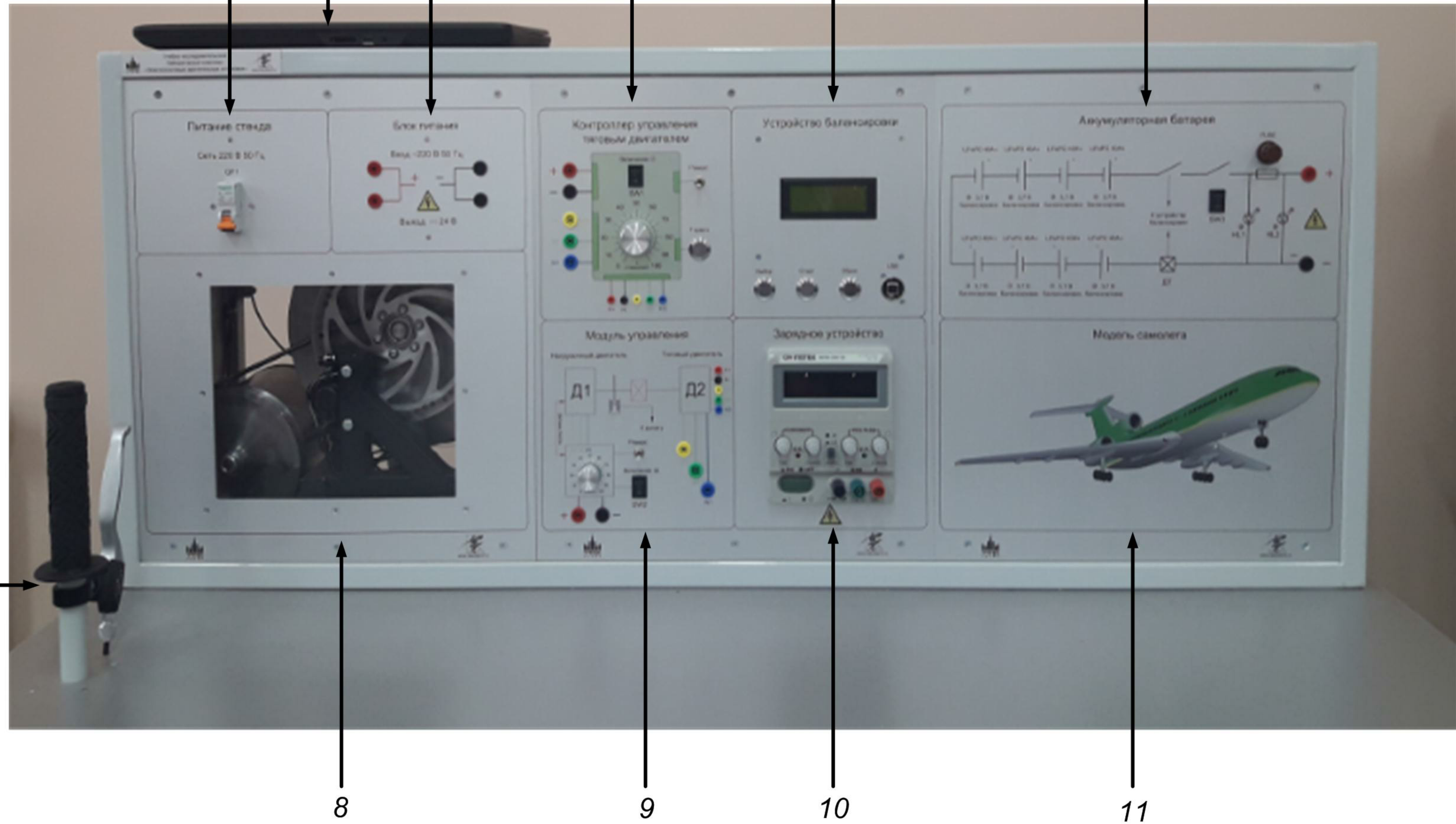
## Структурная схема модернизированной системы



# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

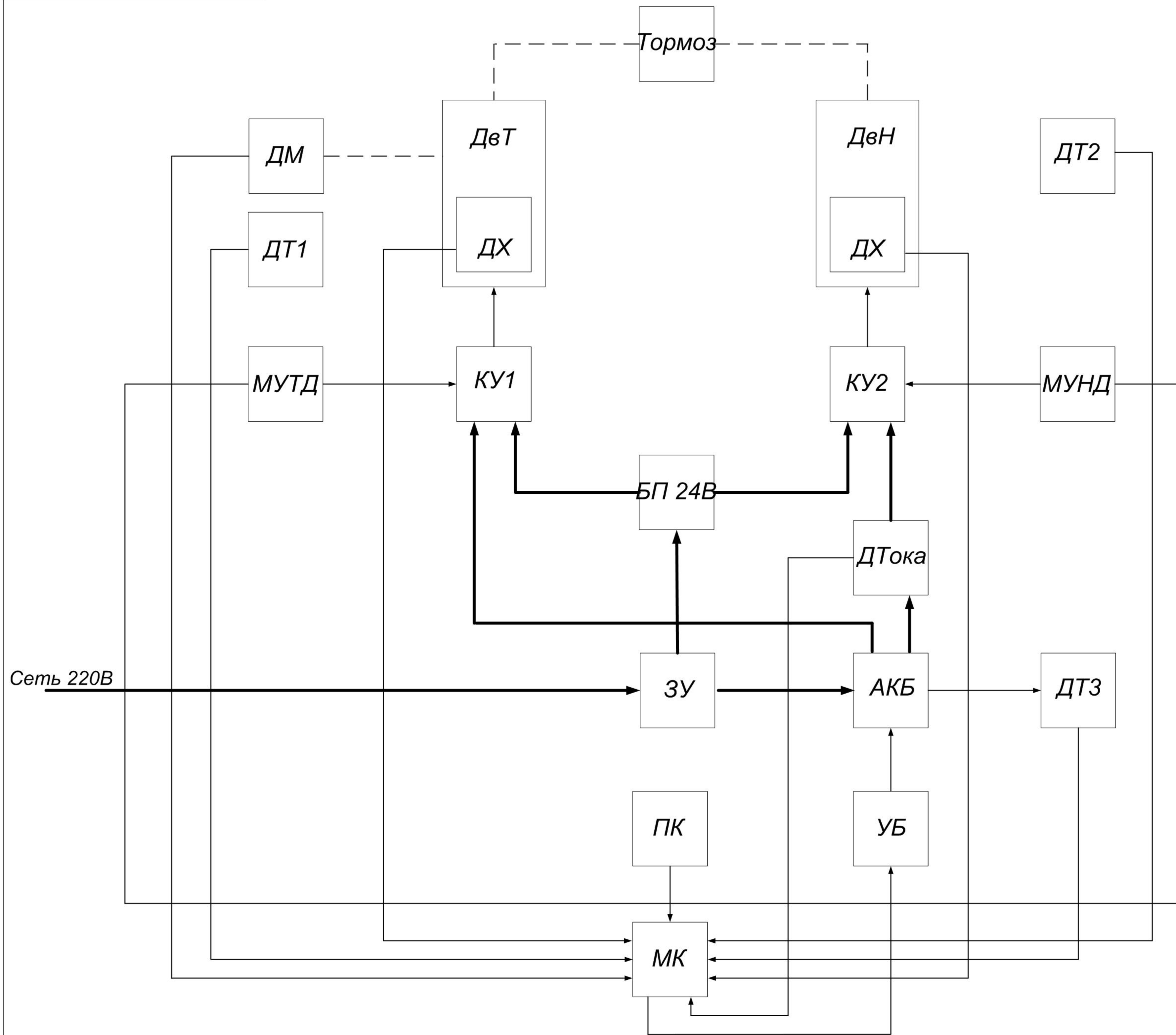
## Принципиальная электрическая схема модернизированной системы





Поз.	Наименование
1	Питание стенда
2	Персональный компьютер
3	Блок питания
4	Контроллер управления тяговым двигателем
5	Устройство балансировки
6	Аккумуляторная батарея
7	Ручной тормоз
8	Силовая установка
9	Модуль управления
10	Зарядное устройство
11	Модель самолета

				ВКР.144012.150304. ВО				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Общий вид лабораторного комплекса «Электросиловые двигательные установки»	Литера	Масса	Масштаб
Разраб.	Святкина					у		
Провер.	Рыбалева А.Н.					Лист 1	Листов 6	
Т.Контр.	Рыбалева А.Н.					АМГУ Кафедра АППиЭ		
Н.Контр.	Скрипко О.В.				Разработка методического обеспечения и внедрение учебно-исследовательских комплексов по электроприводе (комплексная работа)			
Утвержд.	Скрипко О.В.							



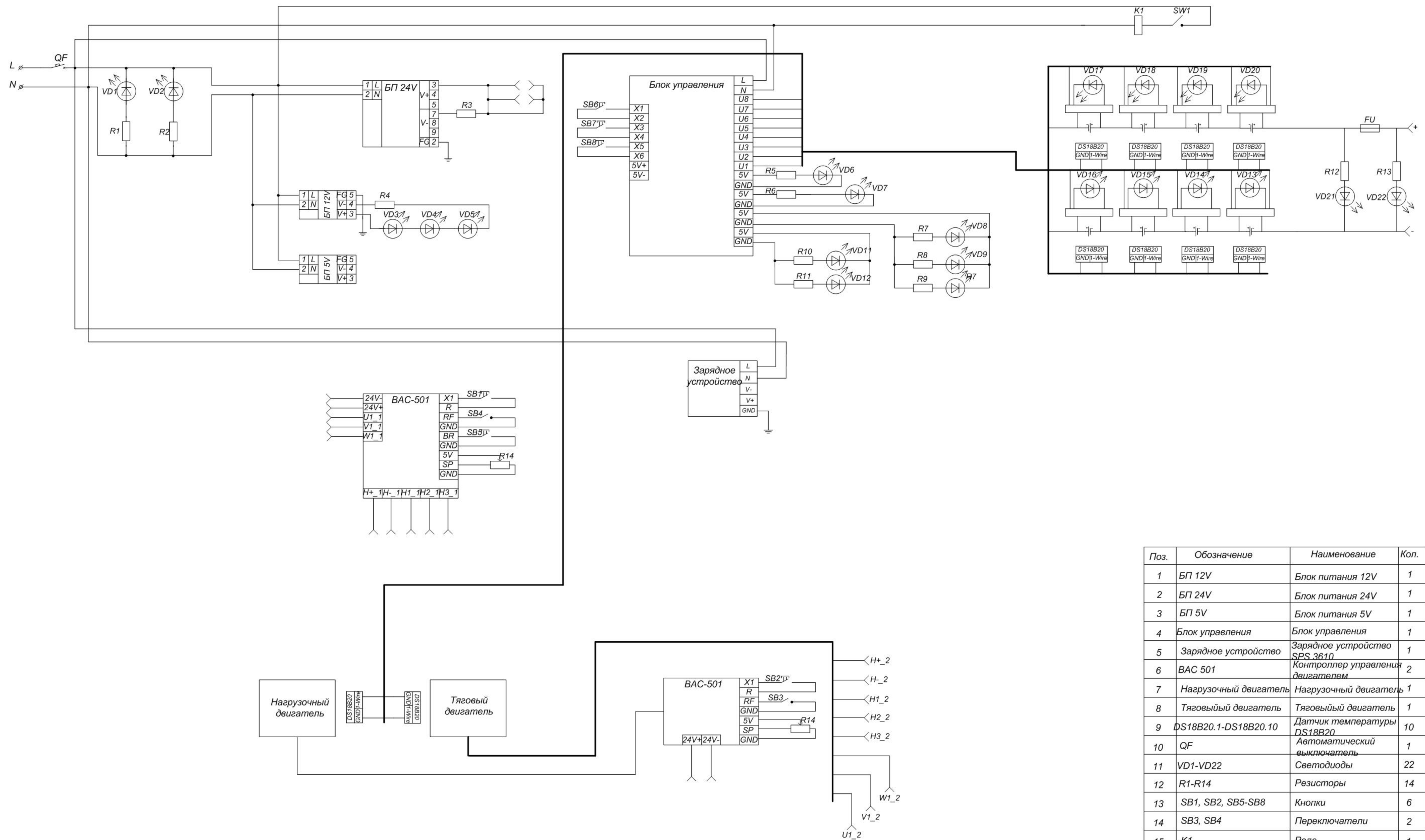
Поз.	Обозначение	Наименование
1	ДвТ	Тяговый двигатель
2	ДвН	Нагрузочный двигатель
3	ДХ	Датчик Холла
4	КУ1	Контроллер управление тяговым двигателем
5	КУ2	Контроллер управление нагрузочным двигателем
6	БП 12В	Блок питания 12 вольт
7	ДТок	Датчик тока
8	АКБ	Аккумуляторная батарея
9	ЗУ	Зарядное устройство
10	УБ	Устройство балансировки
11	МК	Микроконтроллер
12	ПК	Персональный компьютер
13	ДТ3	Датчик температуры аккумуляторной батареи
14	ДТ1, ДТ2	Датчики температуры двигателей
15	МУНД	Модуль управления нагрузочным двигателем
16	МУТД	Датчик момента
17	ДМ	Датчик момента
18	ДМ	Датчик момента
19	Тормоз	Механический тормоз

**—————** Передача электрической энергии  
**—————** Передача сигналов управления и измерительных сигналов  
**- - - - -** Механическая связь

ВКР.144012.150304.СХ				Литера	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Светлана	Т.К.			у	
Провер.	Рыбалева А.Н.					
Т.Контр.	Рыбалева А.Н.				Лист 2	Листов 6
Н.Контр.	Скрипко О.В.				АМГУ	
Утвержд.	Скрипко О.В.				Кафедра АППиЭ	

Структурная схема лабораторного комплекса

Разработка методического обеспечения и внедрение учебно-исследовательских комплексов по электроприводе (комплексная работа)



Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	БП 12V	Блок питания 12V	1	
2	БП 24V	Блок питания 24V	1	
3	БП 5V	Блок питания 5V	1	
4	Блок управления	Блок управления	1	
5	Зарядное устройство	Зарядное устройство SPS 3610	1	
6	ВАС 501	Контроллер управления двигателем	2	
7	Нагрузочный двигатель	Нагрузочный двигатель	1	
8	Тяговый двигатель	Тяговый двигатель	1	
9	DS18B20.1-DS18B20.10	Датчик температуры DS18B20	10	
10	QF	Автоматический выключатель	1	
11	VD1-VD22	Светодиоды	22	
12	R1-R14	Резисторы	14	
13	SB1, SB2, SB5-SB8	Кнопки	6	
14	SB3, SB4	Переключатели	2	
15	K1	Реле	1	
14	FU	Предохранитель	2	
15	SW1	Переключатель	1	

ВКР.144012.150304.  
СХ

Принципиальная  
электрическая схема

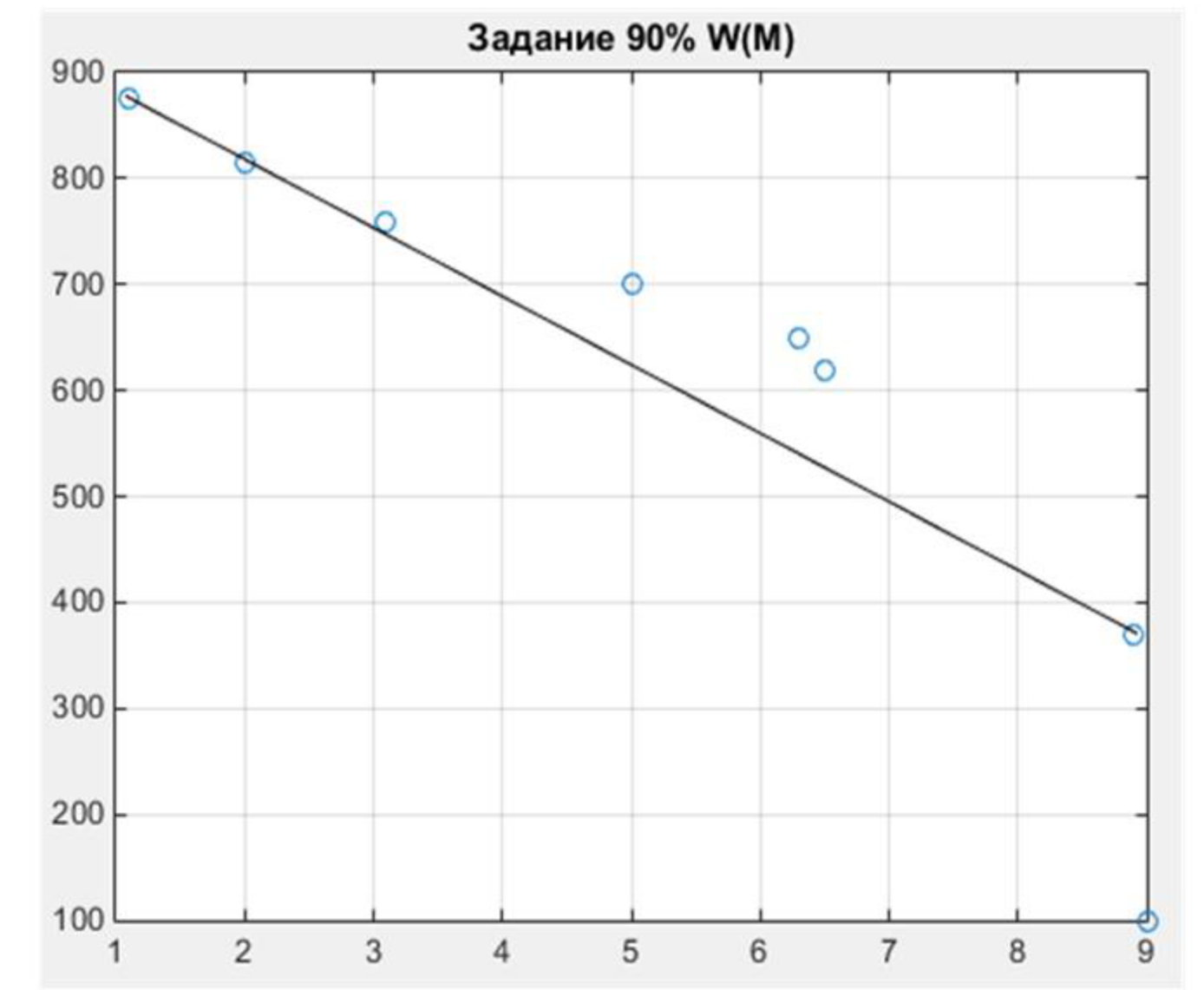
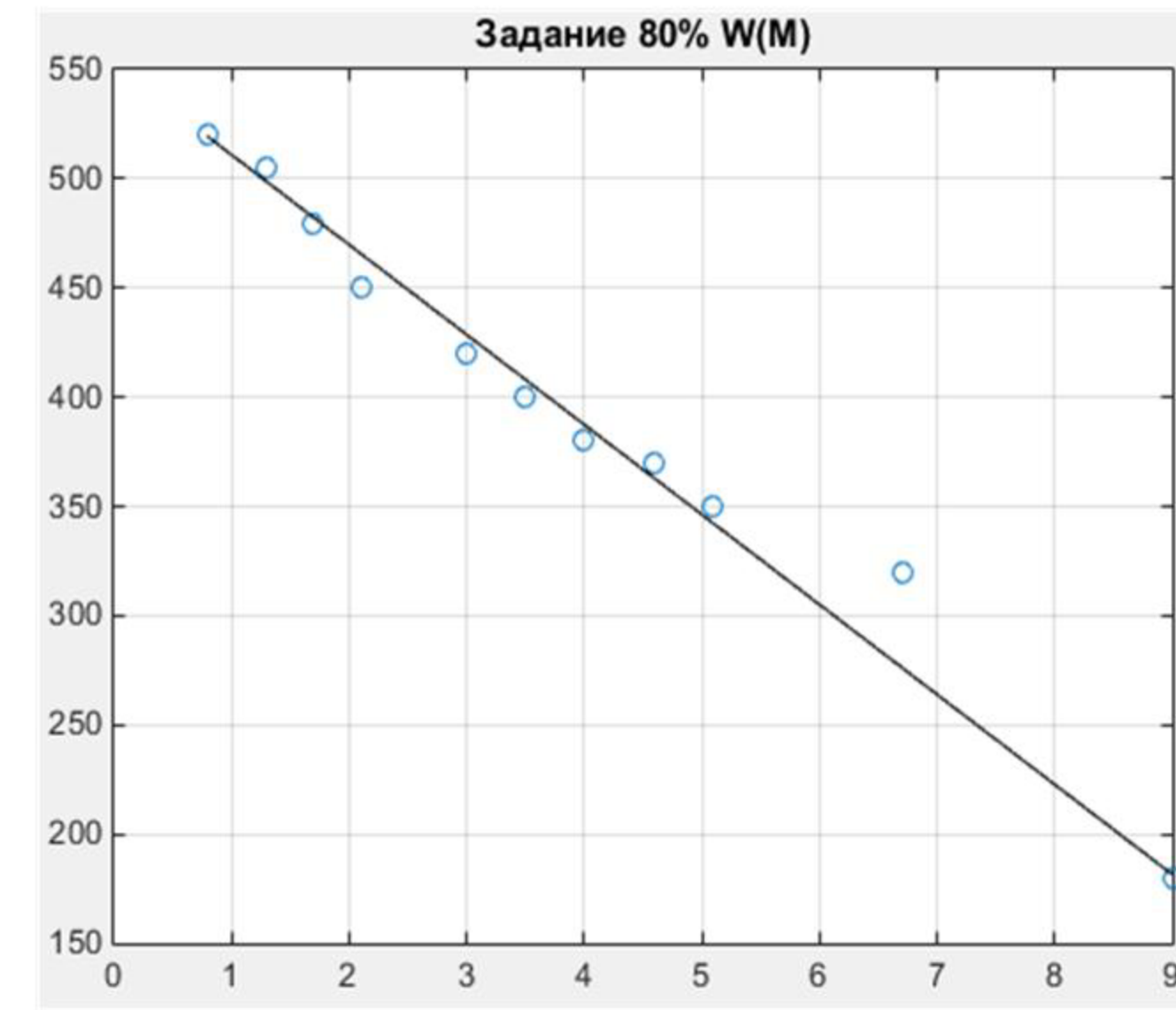
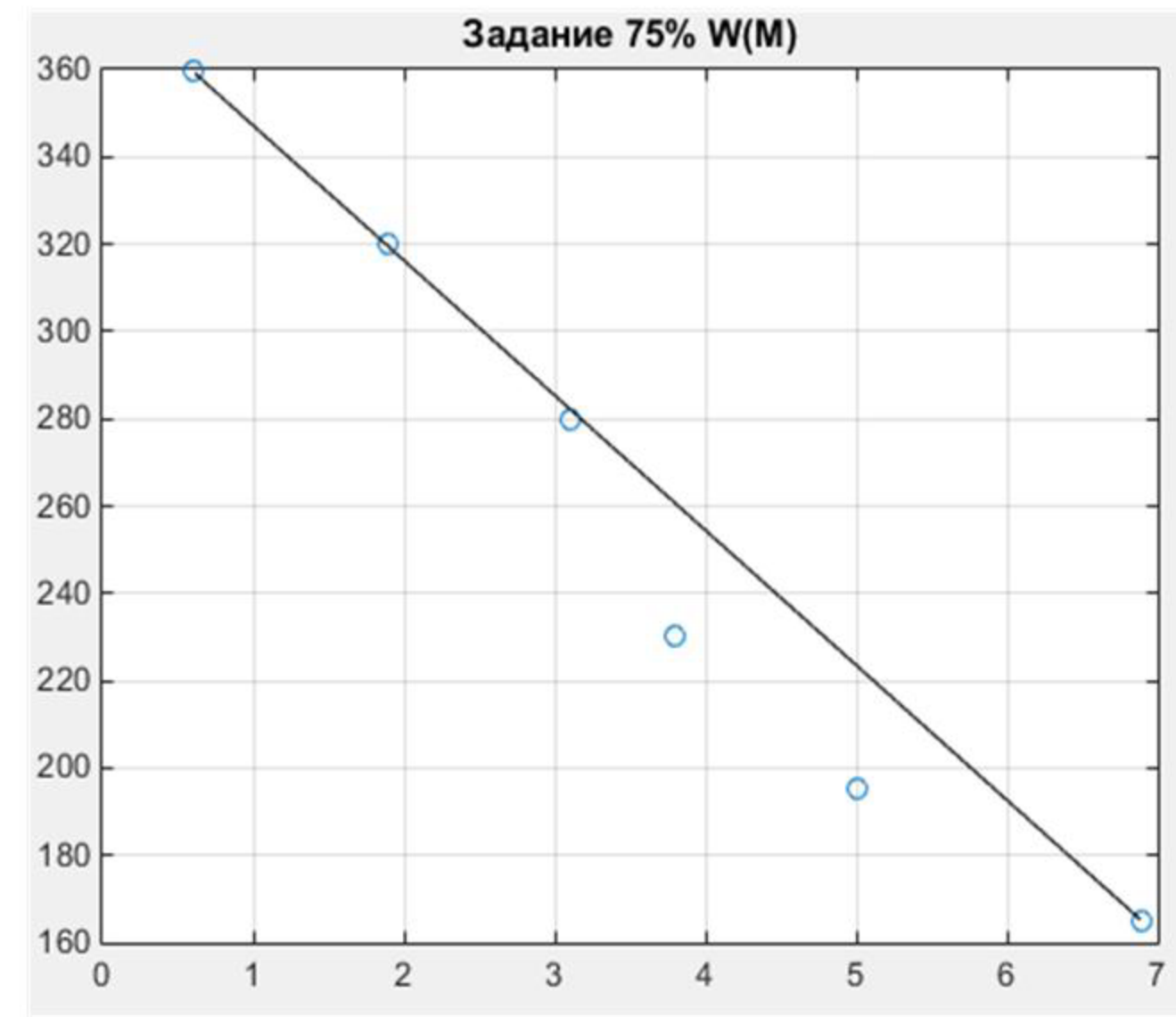
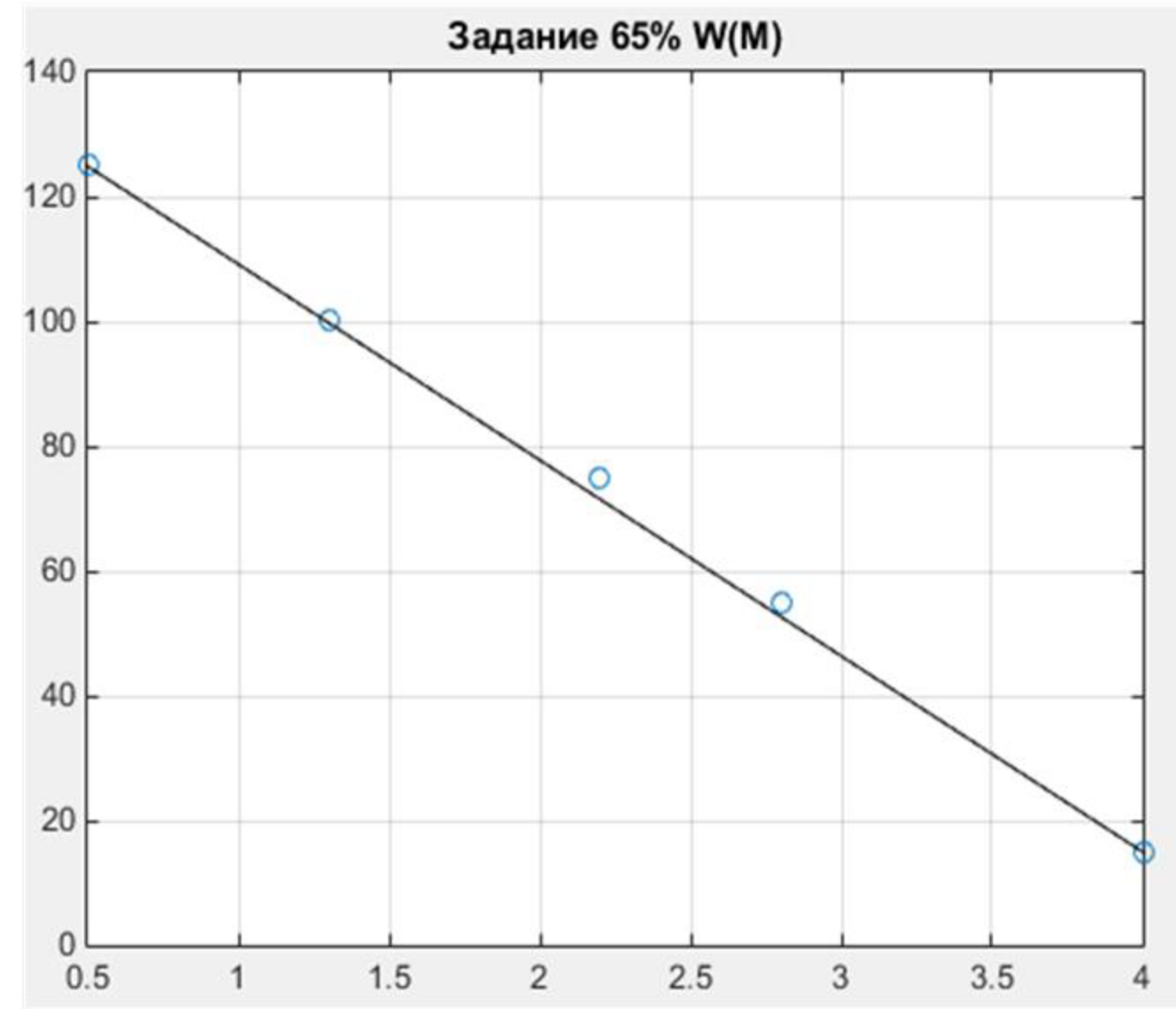
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Светлана	Т.К.		
Провер.	Рыбалева А.Н.			
Т.Контр.	Рыбалева А.Н.			
Н.Контр.	Скрипко О.В.			
Утвержд.	Скрипко О.В.			

Разработка методического обеспечения и внедрение учебно-исследовательских комплексов по электроприводе (комплексная работа)

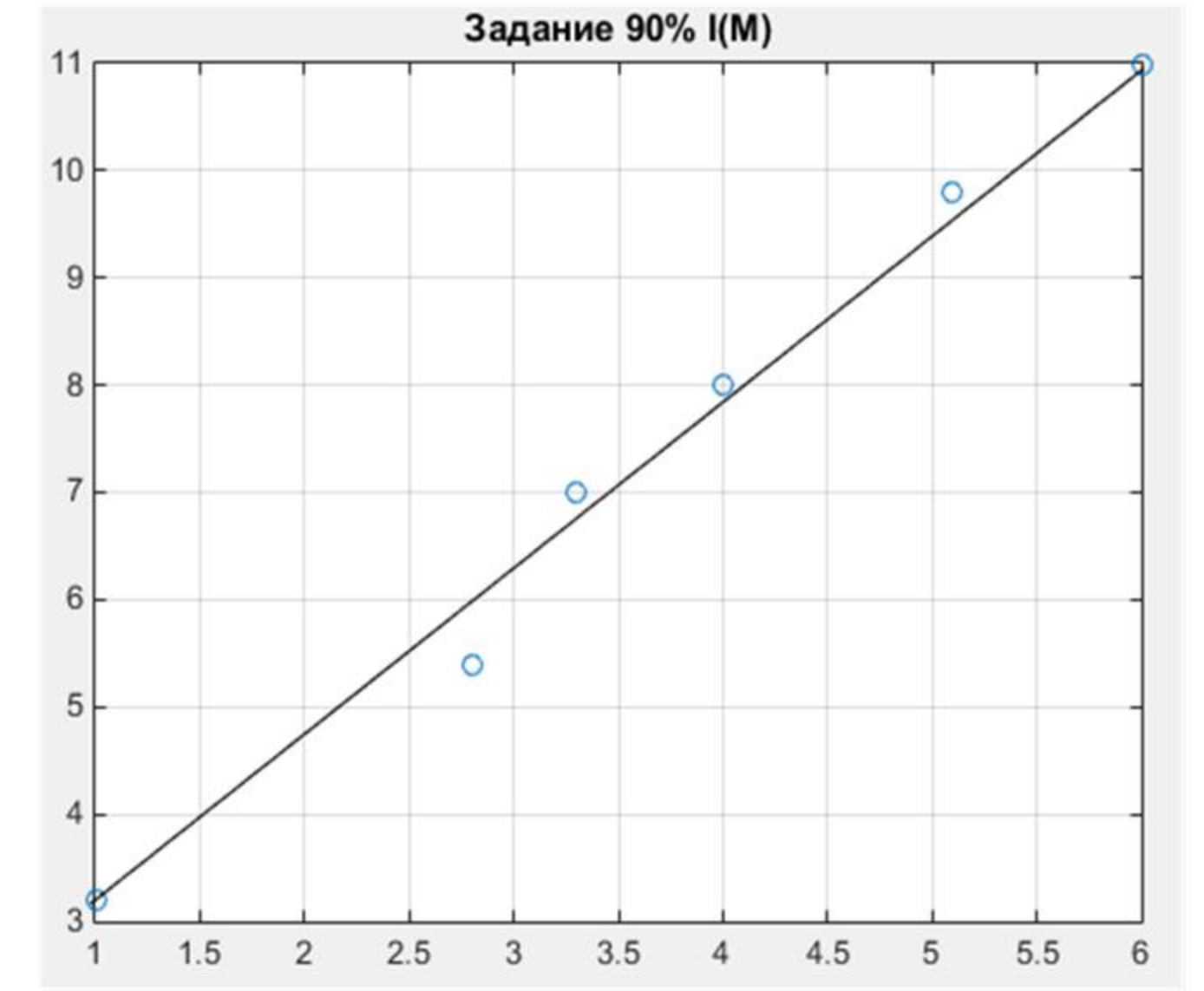
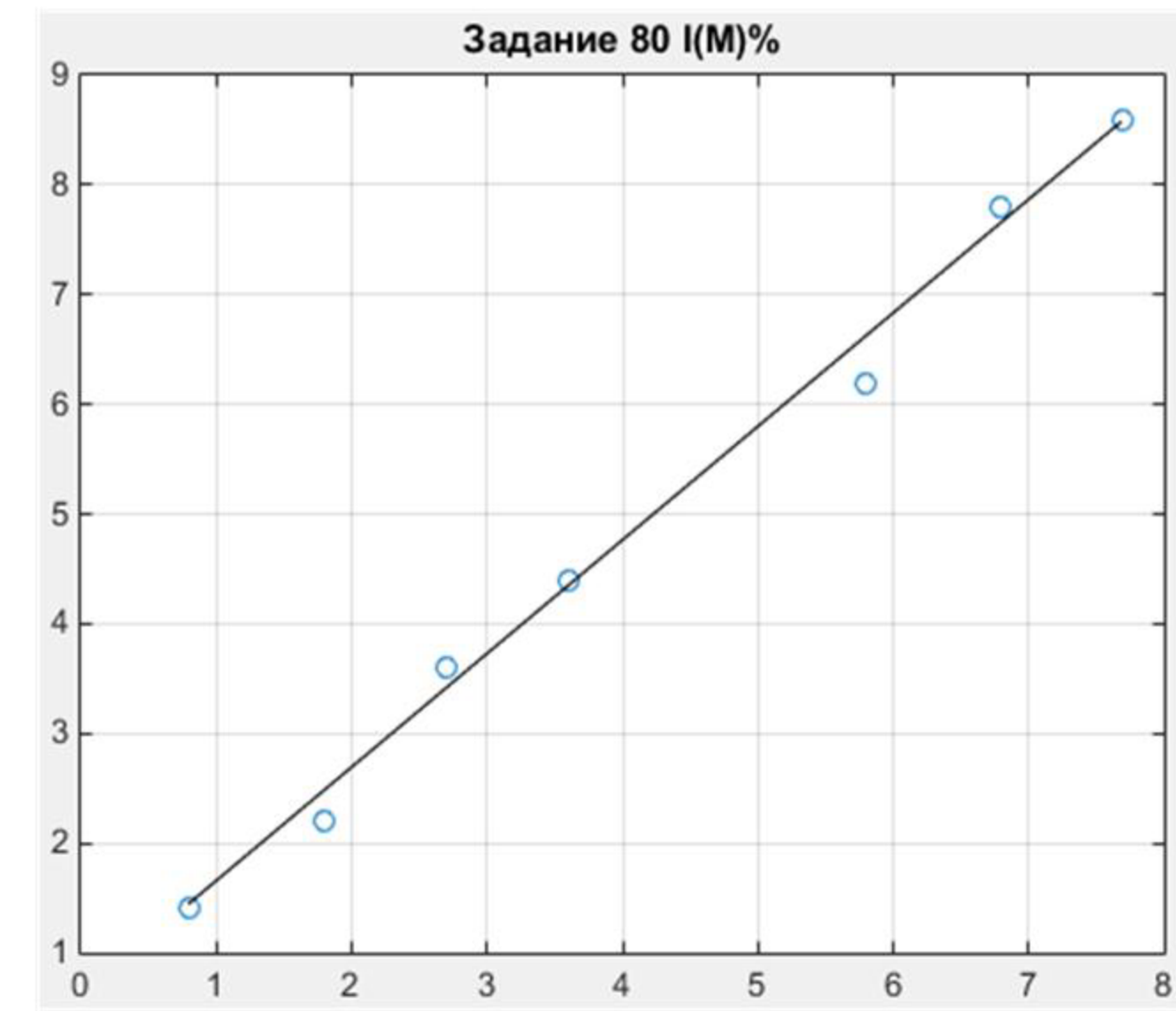
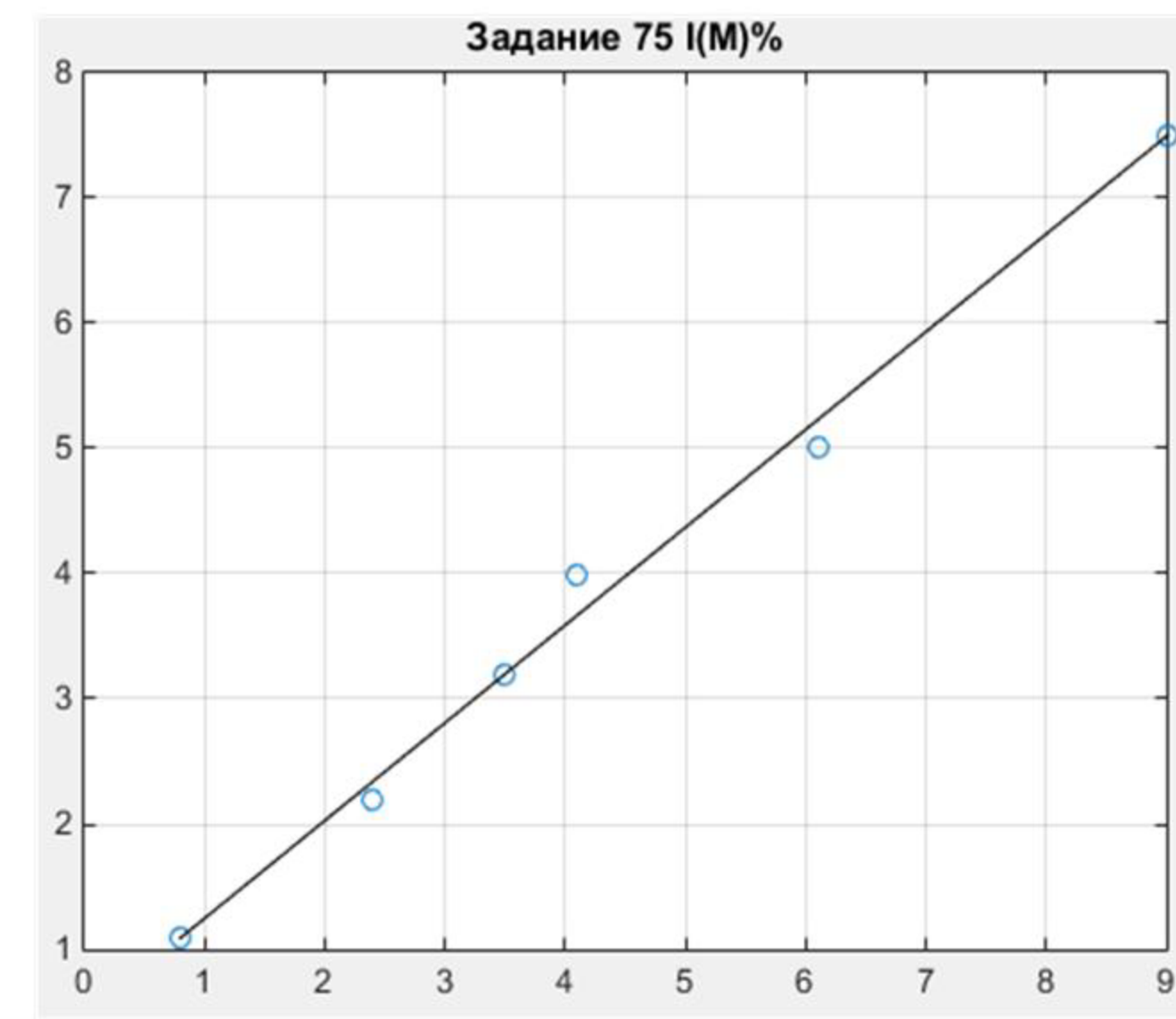
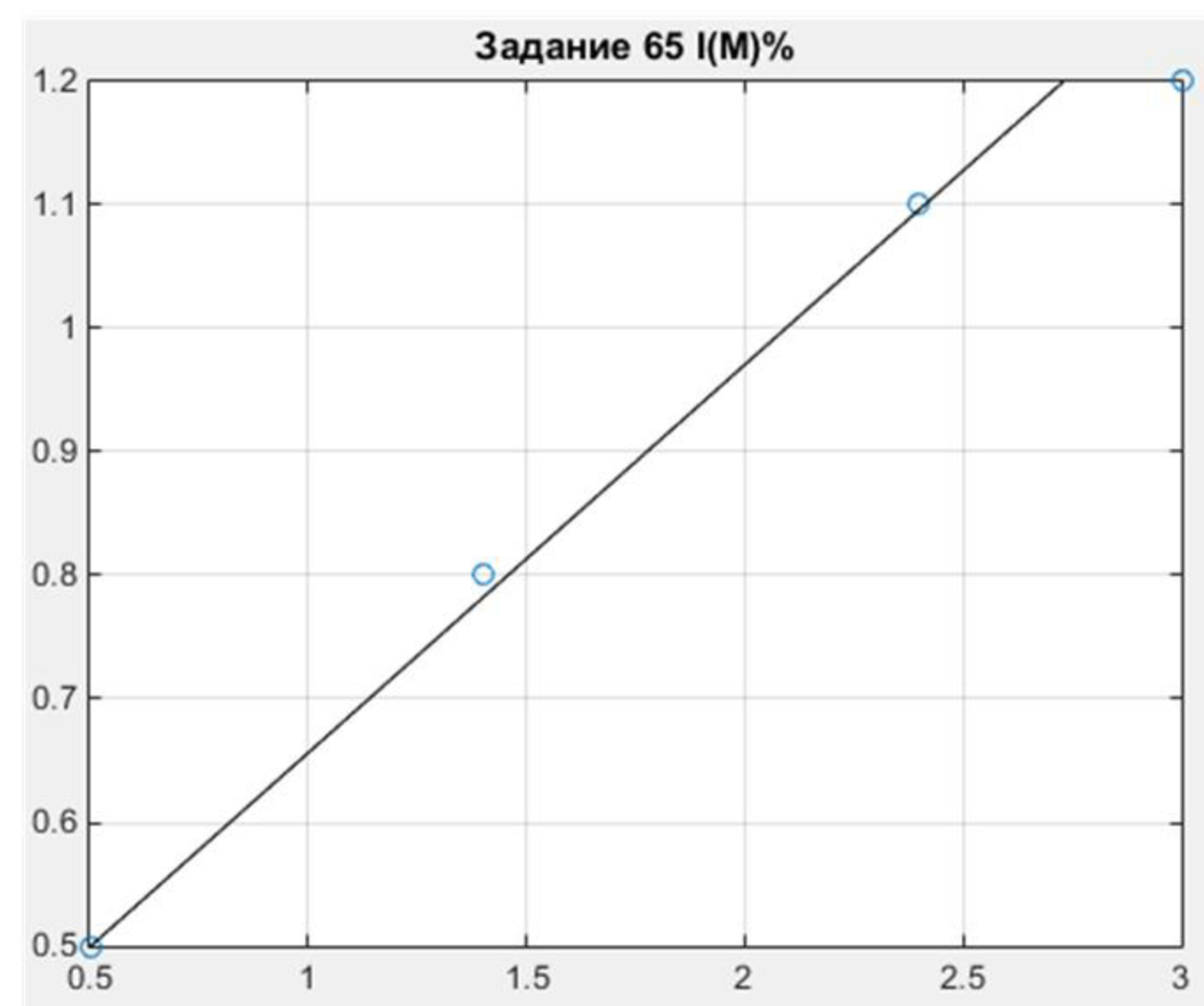
Литера	Масса	Масштаб
y		
Лист 3	Листов 6	

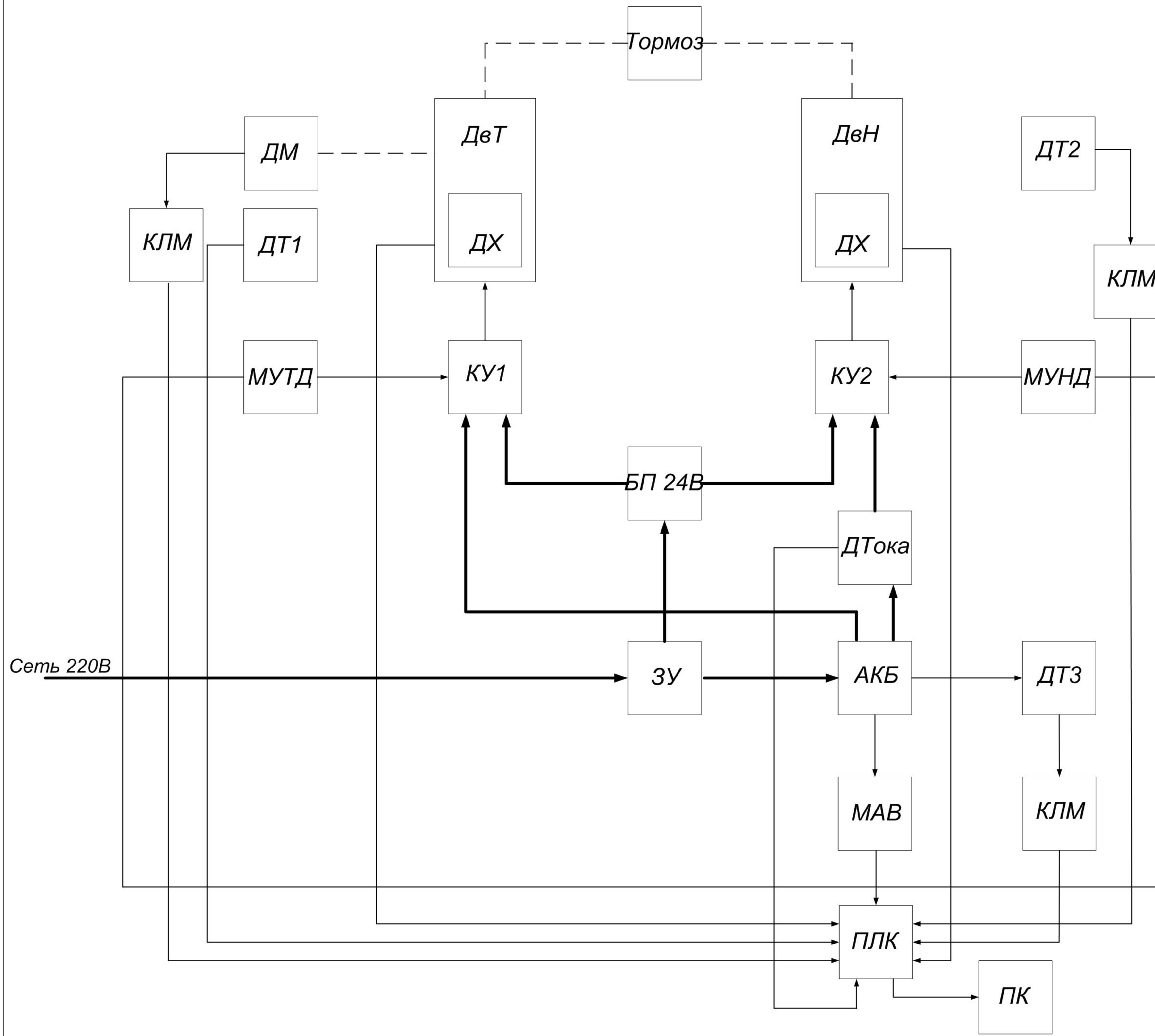
АМГУ  
Кафедра  
АППиЭ

## Механические характеристики



## Электромеханическая характеристика

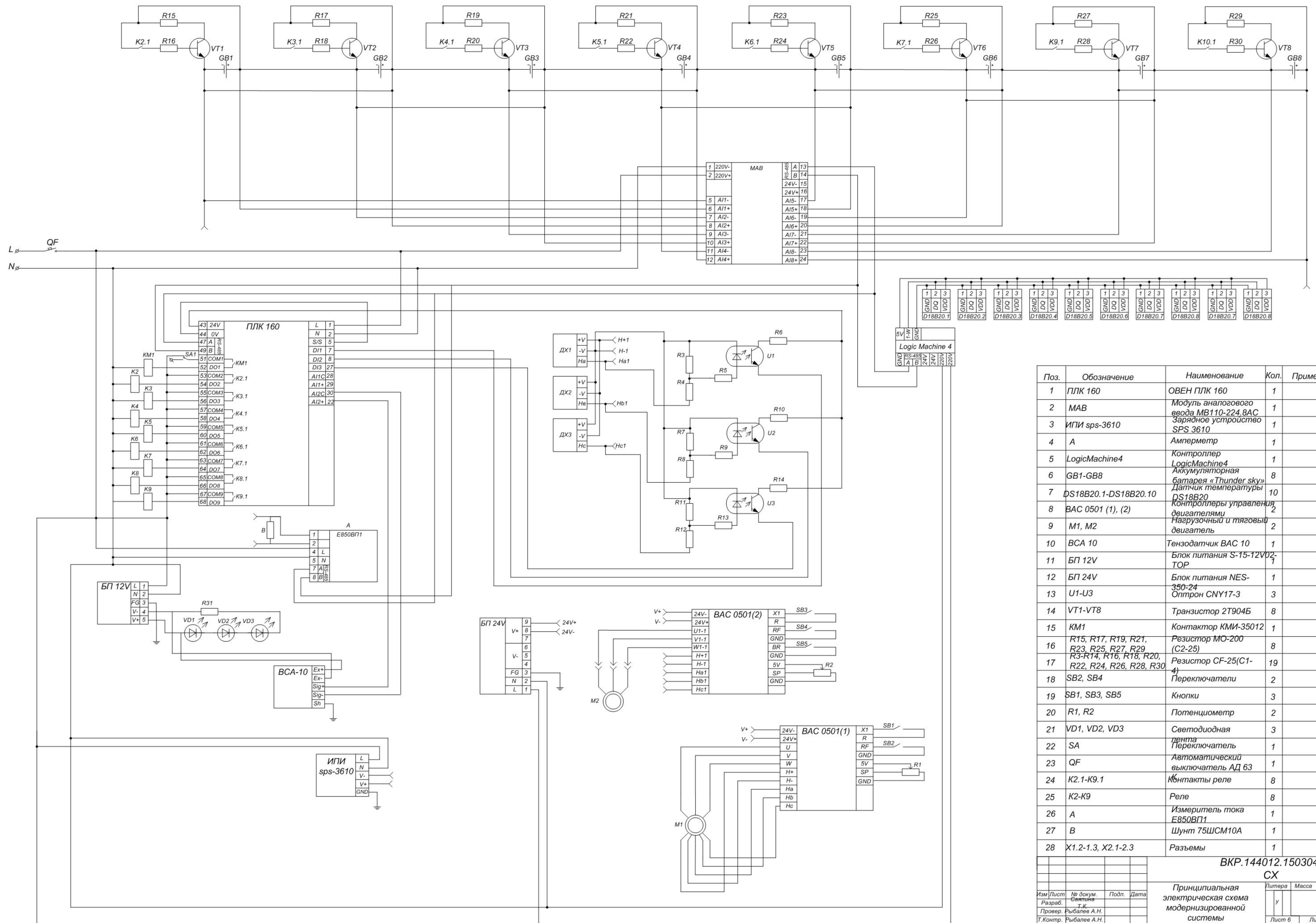




Поз.	Обозначение	Наименование
1	ДвТ	Тяговый двигатель
2	ДвН	Нагрузочный двигатель
3	ДХ	Датчик Холла
4	КУ1	Контроллер управление тяговым двигателем
5	КУ2	Контроллер управление нагрузочным двигателем
6	БП 12В	Блок питания 12 вольт
7	ДТок	Датчик тока
8	АКБ	Аккумуляторная батарея
9	ЗУ	Зарядное устройство
10	УБ	Устройство балансировки
11	МАВ	Модуль аналогового ввода
12	ПЛК	Программируемый логический контроллер
13	ДТ3	Датчик температуры аккумулятора
14	ДТ1, ДТ2	Датчики температуры двигателей
15	МУНД	Модуль управления нагрузочным двигателем
16	МУТД	Датчик момента
17	ДМ	Датчик момента
18	ДМ	Датчик момента
19	Тормоз	Механический тормоз
20	КЛМ	Контроллер Logic Machine

Передача электрической энергии  
 Передача сигналов управления и измерительных сигналов  
 Механическая связь

				ВКР.144012.150304.СХ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Литера	Масса	Масштаб
Разраб.		Сметина			у		
Провер.		Т.К.					
Т.Контр.		Рыбалева А.Н.			Лист 5	Листов 6	
Н.Контр.		Скрипко О.В.			АМГУ		
Утвержд.		Скрипко О.В.			Кафедра АППиЭ		



Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	ПЛК 160	ОВЕН ПЛК 160	1	
2	MAB	Модуль аналогового ввода MB110-224.8AC	1	
3	ИГИ sps-3610	Зарядное устройство SPS 3610	1	
4	A	Амперметр	1	
5	LogicMachine4	Контроллер LogicMachine4	1	
6	GB1-GB8	Аккумуляторная батарея «Thunder sky»	8	
7	DS18B20.1-DS18B20.10	Датчик температуры DS18B20	10	
8	BAC 0501 (1), (2)	Контроллеры управления двигателями	2	
9	M1, M2	Нагрузочный и тяговый двигатель	2	
10	BCA 10	Тензодатчик ВАС 10	1	
11	БП 12V	Блок питания S-15-12V02-TOP	1	
12	БП 24V	Блок питания NES-350-24	1	
13	U1-U3	Оптрон CNY17-3	3	
14	VT1-VT8	Транзистор 2Т904Б	8	
15	KM1	Контактор КМИ-35012	1	
16	R15, R17, R19, R21, R23, R25, R27, R29	Резистор МО-200 (С2-25)	8	
17	R3-R14, R16, R18, R20, R22, R24, R26, R28, R30	Резистор CF-25(С1-4)	19	
18	SB2, SB4	Переключатели	2	
19	SB1, SB3, SB5	Кнопки	3	
20	R1, R2	Потенциометр	2	
21	VD1, VD2, VD3	Светодиодная лента	3	
22	SA	Переключатель	1	
23	QF	Автоматический выключатель АД 63	1	
24	K2.1-K9.1	Контакты реле	8	
25	K2-K9	Реле	8	
26	A	Измеритель тока E850ВП1	1	
27	B	Шунт 75ШСМ10А	1	
28	X1.2-1.3, X2.1-2.3	Разъемы	1	

ВКР.144012.150304.СХ