

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Разработка контроллера на ядре Debian для управления повышающей насосной станцией

УДК 004.384:628.12-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A97	Титов Артём Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин А.А.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Концепция стартап-проекта»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ермушко Жанна Александровна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П.В.	К.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
ОПК(У)-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-4	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК(У)-5	Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности

Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен анализировать параметры и требования, а также характеристики нагрузки, как основы технического задания для проектирования электроприводов и их компонентов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор информации для решения проектных задач, поиск и систематизацию технико-экономических показателей существующих технических решений, их предварительный анализ
ПК(У)-3	Способен проводить проектирование отдельных узлов низковольтных комплектных устройств и электропривода в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных методов
ПК(У)-4	Способен проверять техническое состояние электротехнического оборудования, проводить профилактический осмотр и текущий ремонт по заданной методике
ПК(У)-5	Способен осваивать электротехническое оборудование по имеющейся технической документации

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ Тютева П.В.
(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5A97	Титов Артём Дмитриевич

Тема работы:

Разработка контроллера на ядре Debian для управления повышающей насосной станции	
Утверждена приказом директора ИШЭ	Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является программируемый логический контроллер на ядре Debian для повышающей насосной станции и электропривод насоса воды с параметрами: • Тип насоса – центробежный, подача насоса – $200 \frac{м^3}{ч}$, напор – 20 м; • Тип электродвигателя – асинхронный; • Диапазон регулирования скорости: 1:3;
---	--

	Способ управления – частотный с законом регулирования $\frac{U}{f^2} = const$;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Обзор технической литературы, содержащей описание городского водоснабжения и технологического процесса повышающей насосной станции; - Выбор электродвигателя; - Расчет параметров схемы замещения и естественных механических характеристик асинхронного двигателя; - Выбор преобразователя частоты; - Расчет искусственных механических характеристик системы; - Моделирование переходных процессов в скалярной системе управления - Написание кода программы управления режимом работы электропривода насосной станции; - Проработка вопросов концепции стартап-проекта и социальной ответственности; - Прodelать соответствующие выводы по выполненной работе.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основной раздел ВКР	Шилин А.А.
Социальная ответственность	Черемискина М.С.
Концепция стартап-проекта	Ермушко Ж.А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Титов Артём Дмитриевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2022 /2023 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:		
Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Анализ исходных данных для исследования	10
	Описание городского водоснабжения и технологического процесса повышающей насосной станции	10
	Выбор электродвигателя	10
	Расчет параметров схемы замещения и естественных механических характеристик	10
	Выбор преобразователя частоты	10
	Расчет искусственных механических характеристик	10
	Моделирование переходных процессов в скалярной системе управления	10
	Описание кода управления работой электроприводов	10
	Концепция стартап-проекта	10
	Социальная ответственность	10
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютеева П.В.	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5A97		Титов Артём Дмитриевич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Разработка контроллера на ядре Debian для управления повышающей насосной станции	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения	<i>Объект исследования:</i> программируемый логический контроллер. <i>Область применения:</i> насосная станция. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> 5 (м) x 5 (м) x 5 (м). <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> электродвигатель (4 шт.), насос (4шт.), программируемый логический контроллер (1 шт.), шкаф управления (1шт.). <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> получение, обработка и передача данных технических процессов на насосной станции с помощью контроллера.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ(ред. от 09.03.2021) – - ТОИ Р-200-23-95. Основная профессиональная охрана труда
2. Производственная безопасность при эксплуатации: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные производственные факторы: вибрация, шум, микроклимат, недостаток естественного света. Опасные производственные факторы: электрический ток. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: противושумные наушники, каска, диэлектрический костюм, защитные очки.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<i>Воздействие на литосферу:</i> загрязнение почвы смазочными материалами. <i>Воздействие на гидросферу:</i> бытовые стоки. <i>Воздействие на атмосферу:</i> загрязнение атмосферы парами перекачиваемой жидкости.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<i>Возможные ЧС:</i> пожар, техногенные катастрофы, ураганы, наводнения; <i>Наиболее типичные ЧС:</i> пожар, взрыв(при контакте с окислителями).
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
------------------	------------	-------------------------------	----------------	-------------

Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			
-----------------------	--------------------------------	--	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A97	Титов Артём Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»

Студенту:

Группа	ФИО
5A97	Титов Артём Дмитриевич

Школа	ИШЭ	Направление	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат		

Перечень вопросов, подлежащих разработке:

<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР</i>	Программируемый логический контроллер является микропроцессорным устройством автоматизации, которое осуществляет управление технологическими процессами в промышленности. В настоящее время потребитель испытывает необходимость в устройстве, находящегося в свободном доступе на рынке с относительно невысокой ценой.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Патентование
<i>Объем и емкость рынка</i>	Объем российского рынка: 38,6 млн. руб.
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Процесс импортозамещения в связи с уходом зарубежных компаний. Происходит рост инвестиций в отечественные проекты и развертывание процесса производства внутри страны.
<i>Себестоимость продукта</i>	11600 рублей
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Использование отечественного ядра; Использование отечественного процессора; Использование Open-Source технологий.
<i>Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	На основании конкурентных преимуществ
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Коммунальное хозяйство; нефтегазовое производство; строительство; производство продуктов питания.
<i>Бизнес-модель проекта</i>	Модель по А. Остервальду и И. Пинье
<i>Производственный план</i>	20 шт. в месяц
<i>План продаж</i>	20 шт. в месяц
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы</i>	Модель по А. Остервальду и И. Пинье, таблицы расчета бюджета проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант по разделу «Концепция стартап-проекта» (со-руководитель ВКР):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
------------------	------------	-------------------------------	----------------	-------------

доцент	Ермушко Ж.А.	к.э.н.		
--------	--------------	--------	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A97	Титов А.Д.		

Реферат

Данная выпускная квалификационная работа содержит 143 страницы, 67 рисунок, 53 источника.

Ключевые слова: частотный регулируемый электропривод, частотный преобразователь, программируемый логический контроллер, насос.

Объект исследования: программируемый логический контроллер, асинхронный частотно-регулируемый электропривод насоса.

Цель работы: разработка программируемого логического контроллера на ядре Debian для повышающей насосной станции.

По результатам работы разработан программируемый логический контроллер для управления режимами работы четырех асинхронных электродвигателей повышающей насосной станции, а также, соответственно, разработан частотно-регулируемый электропривод центробежного насоса, а также приведена концепция стартап-проекта.

Область применения данного проекта заключается в автоматизации системы управления асинхронных электродвигателей технологического процесса насосной станции.

Выпускная квалификационная работа оформлена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016. Код программы написан на языке программирования Python.

Оглавление

Реферат	11
Введение.....	15
1. Технологическая часть	18
1.1. Рассмотрение технологического процесса городского водоснабжения	18
1.2. Описание повышающей насосной станции	20
1.3. Описание работы повышающей насосной станции	21
1.4. Выбор способа управления режимами работы насосной станции ...	22
2. Анализ схемы повышающей насосной станции, применяемых датчиков, используемых промышленных сетей и устройства насосной станции	26
2.1. Анализ схемы повышающей насосной станции	26
2.2. Анализ применяемых датчиков на повышающей насосной станции	28
2.3. Анализ используемых промышленных сетей	28
3. Разработка структурной схемы управляющего шкафа	31
3.1. Структура автоматизированной системы диспетчерского контроля	31
3.2. Описание структуры автоматизированной системы диспетчерского контроля насосной станции	32
4. Выбор асинхронного двигателя, расчет параметров и определение статических характеристик	34
4.1. Выбор электродвигателя.....	34
4.2. Параметры схемы замещения асинхронного двигателя	35
4.3. Расчет естественных характеристик двигателя	40
4.4. Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя.....	46
4.5. Имитационная модель силового канала электропривода	47
4.6. Моделирование плавного пуска асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	52
5. Выбор электрооборудования	56
5.1. Выбор преобразователя частоты	56
5.2. Выбор датчика давления	56
5.3. Выбор контакторов и автоматов защиты	57
5.4. Выбор предохранителей.....	58
5.5. Выбор клеммных зажимов	58

6.	Перемещение файлов с Windows-компьютера на Linux-компьютер	61
6.1	Описание процедуры перемещения файлов.....	61
6.2	Принцип работы ПЛК на языке Python	62
6.3	Как запустить Modbus-сервер.....	65
7.	Описание кода программы для программируемого логического контроллера на языке Python	68
7.1	Загрузка внешних библиотек.....	68
7.2	Формирование разностных уравнений динамических звеньев.....	69
7.3	Формирование ПИД-регулятора и объекта управления	70
7.4	Написание кода программы управления электроприводами	72
8.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	80
	Введение.....	80
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	80
8.2	Производственная безопасность	82
8.3	Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	83
8.3.1	Повышенный уровень вибрации	83
8.3.2	Недостаточная освещенность рабочей зоны	85
8.3.3	Неудовлетворительный микроклимат.....	86
8.3.4	Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	87
8.3.5	Электропоражение	87
8.4	Экологическая безопасность	88
8.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
8.5.1	Анализ ЧС, которые могут произойти при проведении исследований	90
	Заключения по главе «Социальная ответственность»	91
9.	КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА	93
	Введение.....	93
	Проблема конечного потребителя.....	93
	Защита интеллектуальной собственности	94
	Объем и емкость рынка	95
	Современное состояние и перспективы отрасли	99
	Конкурентные преимущества разрабатываемого продукта	102

Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта.....	104
Планируемая стоимость продукта.....	104
Бизнес-модель проекта	106
Производственный план и план продаж.....	106
Стратегия продвижения продукта на рынок	109
Заключения по главе «Концепция стартап-проекта»	111
Заключение	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	114
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	120
Приложение А	120
Приложение Б	124
Приложение В.....	126
Раздел 1. Схема комплекса технических средств диспетчеризации	126
Раздел 2. Процедура работы через FTP-протокол	127
Раздел 3. Регистрация суперпользователя.....	132
Приложение Г	135
Раздел 1. Описание динамических звеньев (интегрирующего и дифференциального) на языке Python	135
Раздел 2. Описание ПИД-регулятора на языке Python.....	135
Раздел 3. Код программы управления двигателями и частотным преобразователем.....	136
Раздел 4. Полный код программы	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	143

Введение

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) в настоящее время является неотъемлемой составляющей для полноценной жизнедеятельности людей. Функция такой структуры заключается в обеспечении потребителей определенными благами. По большей мере, такими благами являются электроэнергия, утилизация бытовых отходов, горячее и холодное водоснабжение.

Для обеспечения полноценной работы ЖКХ используется различное электрооборудование, среди которых весомое место по потреблению электроэнергии занимают электродвигатели.

В связи с увеличением тарифов на электроэнергию перед ЖКХ стоит задача по снижению расхода электроэнергии. В случае с электродвигателями экономия электроэнергии обеспечивается путем использования различных устройств автоматизации. К таким устройствам относятся частотный преобразователь, различные датчики, снимающие показатели работы и отправляющие их в программируемый логический контроллер.

Для транспортировки воды потребителям электродвигатели используются совместно с насосами, образуя электроприводную систему, в которую также включена система управления насосов. Широкое распространение среди электродвигателей получили асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым (КЗ) ротором. Такие двигатели характеризуются невысокой стоимостью, высокой популярностью и простотой конструкции. К недостаткам относят высокие значения пусковых токов при их подключении непосредственно в сеть, что негативно отражается на других потребителях электроэнергии.

В настоящее время большая часть электроприводов насосных установок по-прежнему остаются нерегулируемыми. Отсутствие регулирования означает, что электродвигатель постоянно работает на полную мощность вне зависимости от уровня потребления воды, из-за чего траты на электроэнергию являются большими.

Электроприводы насосов представляют собой электромеханическую систему, состоящую из электродвигателя, механизма (самого насоса) и системы управления. Электродвигателем обычно выступает асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым (КЗ) ротором. Такие двигатели характеризуются невысокой стоимостью, высокой популярностью и простотой конструкции. Система управления включает в себя частотный преобразователь и программируемый логический контроллер.

Применение программируемого логического контроллера в технологическом процессе позволяет вести отслеживание режима работы насосной установки, осуществлять включение и отключение насосов в зависимости от требуемого давления (напора воды). Сигналы, получаемые с технологических датчиков (датчиков давления) по обратной связи, поступают на обработку в контроллер, который в дальнейшем отдает команду на включение и отключение двигателей.

Целями работы являются расчет электропривода центробежного насоса и разработка программируемого логического контроллера для управления электроприводами повышающей насосной станции.

В процессе выполнения работы необходимо выполнить перечень задач:

- Рассмотреть технологический процесс городского водоснабжения. Подробно изучить работу повышающей насосной станции.
- Выбрать способ управления режимами работы электропривода насосной установки. Обосновать выбор.
- Провести расчет электропривода насоса согласно заданию. Рассчитать механические и электромеханические характеристики.
- Выполнить исследование регулирования электропривода насоса.
- Осуществить моделирование.

- С целью написания программы для управления режимом работы электропривода ознакомиться с операционной системой на ядре Debian. Изучить, как переносить файлы между компьютерами с разными операционными системами.
- Разработать код программы для системы автоматического управления насосной станцией с использованием Open Source (с открытым исходным кодом) программы Python.

1. Технологическая часть

1.1. Рассмотрение технологического процесса городского водоснабжения

Принцип работы водоснабжения города следующий: вода из водоема транспортируется по самотечным линиям, представляющие собой чаще всего полиэтиленовые трубопроводы, в водоприемный колодец, в котором имеется сетка, задерживающая мелкий мусор. На входе такой линии устанавливается оголовок водозабора, необходимый для фильтрации от габаритного мусора [1].

Далее из водоприемного колодца вода забирается насосной станцией первого подъема по всасывающим водоводам. Суть насосной станции первого подъема заключается в придании воде дополнительного напора для поднятия воды на необходимый уровень подачи на водопроводные очистные сооружения. Созданием данного напора занимаются электроприводы насосов.

В очистном сооружении в воду добавляют хлор (NaOCl) для дезинфекции и коагулянт, требуемый для укрупнения нерастворимых примесей в воде. Такие укрупненные примеси в дальнейшем остаются на скорых фильтрах (кварцевый песок определенной фракции).

После очистных сооружений вода направляется к резервуарам чистой воды (РЧВ), предварительно повторно пройдя процесс обеззараживания (вторичное хлорирование). В РЧВ происходит накопление воды питьевого качества.

Из РЧВ вода забирается насосной станцией второго подъема, откуда поступает в распределительную водопроводную сеть города. Аналогично насосной станции первого подъема, работу по подъему воды осуществляют электроприводы насосов.

Ранее и по сегодняшний день для регулирования расхода воды используются водонапорные башни, которые в часы большого потребления воды отдают часть воды в сеть, а в часы минимального потребления наоборот – накапливают воду). Сейчас идет тенденция по замене таких водонапорных

башен на частотные преобразователи, изменяющие угловую частоту насосов, что приводит к регулированию производительности и напора воды.

В случае, если требуется осуществить подъем воды на большую высоту (высотные здания), то такая задача решается путем использования повышающей насосной станции, создающая дополнительный напор, поскольку напора из городской сети недостаточно для подъема воды.

Следовательно, насосная станция представляет собой комплексную систему для перекачки жидкостей из одного места в другое. Такая система включает в себя здание и оборудование: насосные агрегаты (рабочие и резервные) – насосы и трубопроводы, а также вспомогательные устройства, такие как трубопроводная арматура и фильтры.

Насосные станции предназначены для нужд водоснабжения потребителей, канализации, а также в других отраслях, например, на месторождениях нефти для перекачки нефти по насосно-компрессорной трубе [2].

Таким образом, в составе городской водоснабжающей системы располагается следующий комплекс сооружений:

- 1) Насосная станция первого подъема. Её задача в создании напора для подачи воды на очистные сооружения из водоприемного колодца, откуда вода транспортируется на очистные сооружения, а в дальнейшем на водонапорные башни или сразу в распределительную водопроводную сеть города.

- 2) Насосная станция второго подъема. Насосную станцию второго подъема применяют в случае повторного подъема воды на более высокий уровень, на котором располагается водопроводная городская сеть.

- 3) Водопроводная сеть города осуществляет распределение воды по потребителям, а также создает давление в сети водопроводов.

- 4) Водопроводные очистные сооружения. Необходимы для обеззараживания воды.

5) Повышающая насосная станция. Такое сооружение устанавливается в случае недостаточного напора для транспортировки воды в многоэтажных зданиях от насосов водопроводной сети города.

6) Резервуары чистой воды. Служат для накопления воды питьевого качества, которая в дальнейшем забирается насосной станцией первого и/или второго подъема.

Соответственно, в составе городской водоснабжающей системы имеется комплекс, состоящий из 5 или 6 (в случае использования насосной станции второго подъема) основных компонентов.

1.2 Описание повышающей насосной станции

Повышающая насосная станция предназначена для обеспечения требуемого уровня давления в водоснабжающей сети. Место монтажа подобной насосной станции – участок трубопровода между источником забора жидкости и конечным потребителем. Функционирование насосной станции в большинстве случаев проходит в автоматическом режиме, а управления осуществляется дистанционно [3].

Как правило, любая повышающая насосная станция имеет в своем составе не менее двух насосных агрегатов. Максимальное количество силовых модулей доходит до 6 штук. Кроме того, в состав насосной станции входит управляющий блок, арматура запорная и регулирующая, датчики и устройства автоматики.

Главными характеристиками насосной установки являются производительность и осуществляемый напор. При изменении напора, необходимо регулирование работы электропривода насоса. Существует несколько способов регулирования [4]:

1. Гидравлический.
2. Регулирование угловой частоты насоса.

В случае гидравлического регулирования большая часть электроэнергии тратится на тепло и циркуляцию воды “впустую”, из-за чего уменьшается коэффициент полезного действия установки.

Регулирование угловой частоты насоса с помощью частотного преобразователя позволяет непрерывно изменять производительность насосов при меньших затратах электроэнергии. Но требуются первоначальные затраты на частотный преобразователь, однако с учетом экономии электроэнергии такой способ окупит себя спустя некоторое время.



Рисунок 1.1. Четыре насоса для водоснабжения

Повышающая насосная станция предназначена для обеспечения требуемого уровня давления в водоснабжающей сети. Место монтажа подобной насосной станции – участок трубопровода между источником забора жидкости и конечным потребителем. Функционирование насосной станции в большинстве случаев проходит в автоматическом режиме, а управления осуществляется дистанционно [3].

Как правило, любая повышающая насосная станция содержит не менее двух насосных агрегатов. Максимальное количество силовых модулей доходит до 6 штук. Кроме того, в состав комплекса также имеется блок управления и элементы автоматики, технологические датчики, а также трубопроводная арматура.

Все части насоса монтируются на одной раме и содержат единые распределительные трубопровод. Соединение входного и выходного водопроводов выполняется за счет соединений фланцевого типа.

1.3 Описание работы повышающей насосной станции

Насосная станция повышающего типа осуществляет наблюдение за состоянием узлов и расходом жидкости автоматически. При начале

потребления воды включается начальный агрегат на малую мощность. По мере увеличения расхода воды увеличивается мощность агрегат при одном и том же давлении. При росте потребления воды подключаются следующие насосы [3].

На лицевой панели управляющего модуля присутствуют световые индикаторы, которые отображают состояние отдельных узлов насосной станции. На мониторе параметры повышающей насосной станции можно регулировать, в зависимости от требований потребителя.

Как правило, подобные станции могут использоваться в сетях холодного и горячего водоснабжения. Кроме того, возможна перекачка технической жидкости, предварительно очищенной. Существуют варианты исполнения, позволяющие работать с жидкостями, отличающимися от воды.

1.4 Выбор способа управления режимами работы насосной станции

Как было написано выше, гидравлическое регулирование имеет существенный недостаток: большая часть электроэнергии тратится на тепло и циркуляцию воды впустую. Частотное регулирование работы электропривода позволяет сэкономить немалую часть электроэнергии, что позволяет снизить издержки ЖКХ.

Частотное регулирование также обладает рядом положительных технических свойств:

- Частотный преобразователь может работать, как устройство плавного пуска, разгоняя электропривод насоса плавно, без дергания в течение заданного времени.
- Имеется возможность точного регулирования угловой частоты вращения путем изменения частоты питающей сети.
- Снижение нагрузки на механическую (подшипники) и электрическую (обмотки) часть из-за устранения высоких значений пусковых токов. Это позволяет увеличить срок эксплуатации и снизить затраты на обслуживание.

– Уменьшение статических нагрузок на водопроводы потребителей, поскольку давление в трубопроводе будет зависеть от требуемого напора. Также избегаются гидроудары благодаря использованию плавного пуска. Следовательно, увеличивается срок эксплуатации трубопроводов.

Таким образом, с учетом достаточного количества положительных свойств, выбирается частотное регулирование скорости вращения рабочих колес насоса.

1.5 Типы насосов, применяемых на насосных станциях

Существует немалая разновидность насосов. Они могут отличаться принципом устройства, электропитанием и сферой применения. Выбор насоса осуществляется в зависимости от цели использования и условий эксплуатации.

Насосные агрегаты, входящие в состав повышающих насосных станций, могут быть одноступенчатые либо многоступенчатые. Кроме насосов ступенчатого типа могут использоваться помповые и погружные агрегаты, которые предназначены для забора жидкости с большой глубины [3].

На насосных станциях чаще всего применяются центробежные одноступенчатые насосы, используемые для циркуляции воды в системах водоснабжения (рисунок 2) [5].

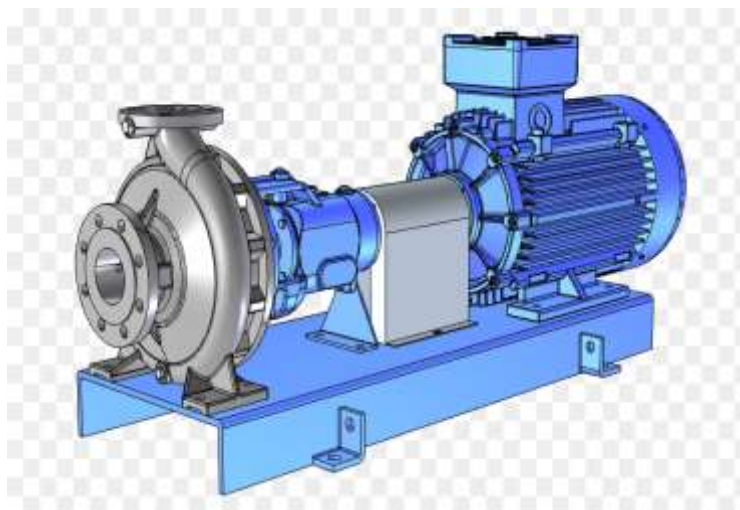


Рисунок 1.2. Центробежный насос

Главными составляющими, общими для всех видов конструкций центробежных насосов, являются рабочее колесо с лопастями, корпус спиральной формы, всасывающий и напорный патрубки.

К основным общим элементам конструкции центробежных насосов относятся рабочее колесо, спиралевидный корпус с принимающим жидкость всасывающим патрубком и выводящим жидкость напорным.

Всасывающий патрубок осуществляет соединение корпуса с всасывающим водопроводом, напорный выводящий патрубок соединяется с напорным водопроводом. Рабочее колесо насоса жестко насажено на вал, представляет собой единую отливку и имеет передний и задний диски с изогнутыми лопастями между ними. Корпус насоса не является осесимметричным; между внешним ободом колеса и корпусом имеется спиральная камера (спиральный отвод), по которой жидкость плавно отводится от рабочего колеса в напорный трубопровод [5].

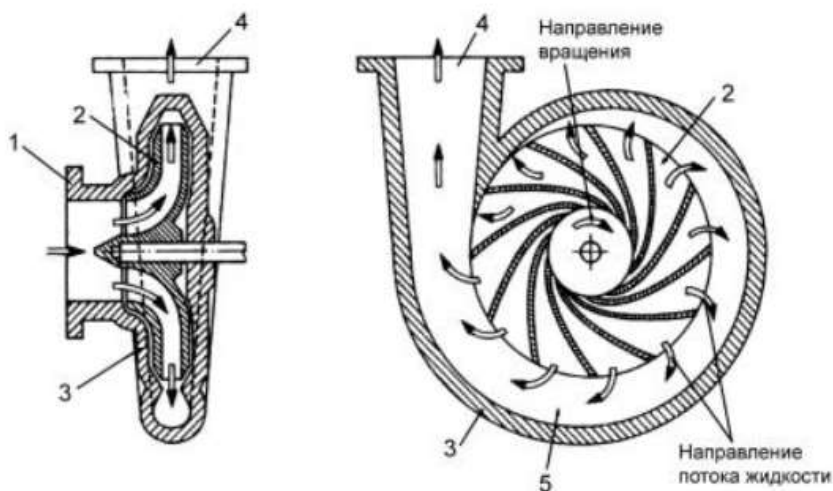


Рисунок 1.3. Конструкция одноступенчатого центробежного насоса.

1 – всасывающий патрубок; 2 – рабочее колесо с лопастями; 3 – корпус; 4 – напорный патрубок; 5 – спиральный отвод

Жидкость при вращении рабочего колеса под действием центробежных сил движется от его центра к периферии и далее поступает в спиральную камеру, напорный патрубок и напорный трубопровод. В спиральном отводе скорость снижается, и происходит частичное преобразование кинетической энергии в потенциальную. В центральной части колеса образуется вакуум, под

действием которого происходит поступление жидкости в насос из всасывающего трубопровода. При вращении колеса обеспечиваются непрерывное движение жидкости и ее поступление в сеть.

2. Анализ схемы повышающей насосной станции, применяемых датчиков, используемых промышленных сетей и устройства насосной станции

2.1 Анализ схемы повышающей насосной станции

Повышающая насосная станция, принципиальная схема которой изображена на рисунке 2.1, выполнена по классической схеме с параллельным расположением насосов.

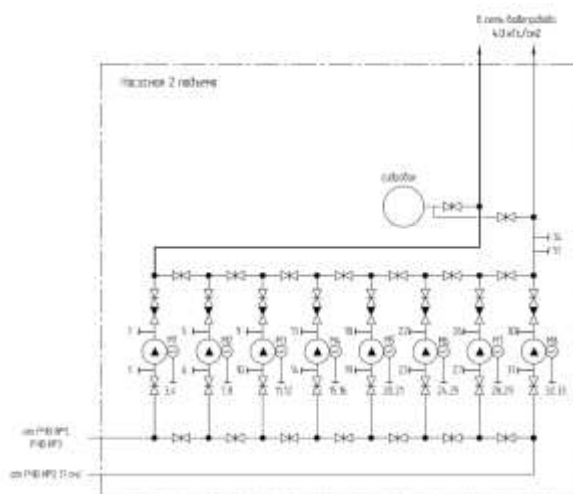


Рисунок 2.1. Принципиальная схема насосной станции

Электрообеспечение насосной станции выполняется за счет понижающего трансформатора, преобразующего линейное напряжение 6кВ в линейное 380 В, требуемое для работы электроприводов насосов.

Электрошкаф насосной станции представлен 8 магнитными пускателями, 1 частотным преобразователем и программируемым логическим контроллером с НМИ-панелью (human-machine interface – человеко-машинный интерфейс).

Также с трансформатора подаются фазные напряжения 220 В на выпрямительные устройства 24 В, которые питают модули расширения аналогового входа и датчики давления. С датчиков давления выход на модули расширения аналогового входа находится в диапазоне 4-20 Ма.

Электрическая схема подключения электродвигателей приведена в приложении А, рисунок А.1.

Как видно из рисунка А.1, осуществляется ввод питания через рубильник, далее к трехфазной сети подключаются 4 электродвигателя. На каждый электродвигатель идут по одному трехполюсному автоматическому выключателю и по два контактора, чтобы была возможность обеспечить питание от сети и от частотного преобразователя, т.е. один из двух контакторов каждого электродвигателя соединен с частотным преобразователем. Это выполнено для того, чтобы сделать распределение нагрузки по электродвигателям поровну: одни сутки работает первый электродвигатель с частотным преобразователем, вторые сутки работает второй электродвигатель с частотным преобразователем и т.д. Продолжение электрической схемы представлено в приложении А, рисунок А.2.

Согласно рисунку А.2, через однополюсный автоматический выключатель питание приходит на 4 реле термисторной защиты, защищающее электродвигатель от перегрева. От него питание может прийти на контакты контактора КМ2.1 – для работы от сети на полную мощность, либо на контакты контактора КМ2.2 – для работы от преобразователя частоты. Также здесь указана возможность выбора режима управления: Ручн-Откл-Автом. 3 часть электрической схемы проиллюстрирована в приложении А, рисунок А.3.

На рисунке А.3 показано отображение индикации аварии насосов с помощью ламп НЛ2, НЛ3, НЛ4 и НЛ5. Крайняя часть электрической схемы приведена в приложении А, рисунок А.4.

На рисунке А.4 показана шина на преобразователь постоянного напряжения (из переменного 220 В в 12 В постоянное). Постоянное напряжение 12 В необходимо для питания программируемых логических контроллеров (контакт 1).

Значения давления на напоре насосной поступают на аналоговый вход по контакту 27 ПЛК по шине 4-20 мА, а данные с дифференциальных реле давлений насосов поступают на дискретные входа 30-33.

2.2 Анализ применяемых датчиков на повышающей насосной станции

На повышающей насосной станции применяются преобразователи (датчики) давления типа MBS 1700 (Приложение Б, рисунок Б.1). Такие датчики предназначены для измерения давлений жидкостей и газов в промышленности. Корпус MBS 1700 изготовлен из кислотостойкой нержавеющей стали. Точность обеспечивается лазерной калибровкой, встроенной температурной компенсацией и помехозащищенностью в соответствии с нормами электромагнитной совместимости EU EMC [6].

В приложении Б, таблица Б.1 представлены технические характеристики преобразователя давления MBS1700.

Принцип действия датчика следующий: под действием давления происходит деформация измерительной мембраны, что приводит к изменению электрического сопротивления расположенных на ней тензорезисторов, соединенных в мостовую схему. В результате происходит дисбаланс моста и в его измерительной диагонали появляется сигнал по напряжению, который поступает в электронный блок, где преобразуется в нормированный сигнал.

2.3 Анализ используемых промышленных сетей

RS – 232 – стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса (UART). Имеет известность, как последовательный порт для персональных компьютеров [7].

Данный интерфейс необходим для связи терминального и связанного устройств. В качестве терминального устройства может выступать компьютер, который отправляет и получает данные по последовательному порту, а связанное устройство используется для осуществления передачи данных.

Используются 25-контактные разъемы DB-25 (рисунок 2.2) или занимающий меньшее место 9-контактный DB-9 (рисунок 2.3).



Рисунок 2.2. Разъем DB-25



Рисунок 2.3. Разъем DB-9

В последовательном интерфейсе применяется метод небалансной передачи сигналов с асимметричными передатчиками и приемниками. На рисунке 2.4 изображено соединение передатчика и приемника, где используются следующие обозначения: T(Transmitter) – передатчик; R(Receiver) – приемник; TI(TransmitterInput) – цифровой вход передатчика; RO(ReceiverOutput) – цифровой выход приемника; U_T – линейное напряжения на выходе передатчика и U_R – напряжение на входе приемника [8].

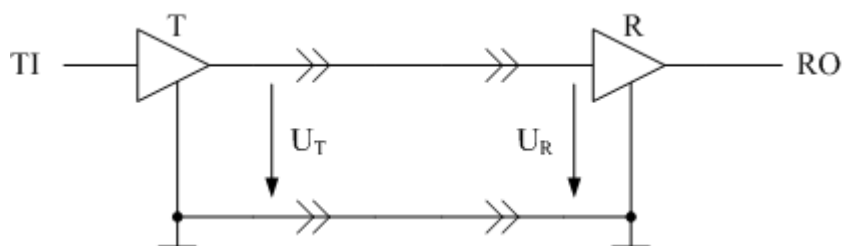


Рисунок 2.4. Соединение передатчика и приемника в интерфейсе RS-232

RS – 485 – стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса, регламентирующий электрические параметры полудуплексной многоточечной дифференциальной линии связи типа «общая шина». Данный стандарт популярен и является базой для создания семейства промышленных сетей, используемых для промышленной автоматизации. Физически стандарт RS – 485 представляет собой одну витую пару проводов, иногда имеющую дополнительную экранирующую оплетку или общий провод. Передача данных происходит за счёт дифференциальных сигналов. Разница напряжений между проводниками одной полярности означает логическую единицу, разница другой полярности означает ноль [9].

Стандарт RS – 485 оговаривает только электрические и временные характеристики этого интерфейса [10].

На повышающей насосной станции используется сеть RS 232, RS 485 для передачи информации с датчиков давления на электрошкаф с щитом управления, узла учета хозяйственно – питьевой воды и узла учета отопления.

3. Разработка структурной схемы управляющего шкафа

3.1 Структура автоматизированной системы диспетчерского контроля

Схема комплекса технических средств диспетчеризации изображена на рисунке В.1 в разделе 1 приложения В.

Структура автоматизированной системы диспетчеризации делится на верхний и нижний уровни. На нижнем уровне технологическим оборудованием выступают датчики давления, от которых поступают сигналы с данными.

На верхнем уровне происходит выполнение задач диспетчеризации технологического процесса, то есть контроль за работой насосной станции. Для решения задач требуется участие человека, который будет взаимодействовать с системой диспетчеризации через человеко–машинный интерфейс (HMI-панель). Его разработка и работа возможны благодаря использованию SCADA – систем [11].

К техническим средствам верхнего уровня можно отнести сетевое оборудование, HMI панель, промышленные серверы, диспетчерские и операторские станции

Сетевое оборудование представляет собой различные коммутаторы, преобразователи сигналов, линии связи из витых пар и оптоволоконных кабелей. Линии связи образуют распределительную вычислительную сеть с высокой скоростью передачи данных. Промышленный сервер — это мощная вычислительная система, которая должна быть надежной, производительной и отказоустойчивой.

Промышленный сервер выполняет задачи длительного хранения необходимых и часто используемых данных, накопление большого объема информации о контролируемых технологических процессах и обеспечение многочисленного доступа к этой информации с различных автоматизированных рабочих мест.

Диспетчерские и операторские станции — это автоматизированные рабочие места, которые располагаются в различных зданиях или помещениях и объединены или могут объединяться в локальную сеть образуя информационно – вычислительный комплекс. Данные места могут быть идентичными по типу получаемых данных или могут различаться из-за особенностей работы контролируемого участка и его обслуживающего персонала.

Система диспетчеризации осуществляет сбор данных:

- О контролируемых параметрах.
- О технологических параметрах (текущих и архивных), обрабатывающих ПЛК.
- О параметрах настройки ПЛК

Предусматривается возможность дистанционного управления параметрами настройки ПЛК и удаленного их программирования.

Обмен данными с диспетчерской производится по каналам связи, предоставляемым оператором связи. Подключение щитов автоматизации к оборудованию оператора связи выполняется по интерфейсу Ethernet.

Сервер диспетчеризации – существующий, установлен в диспетчерской. Автоматизированным рабочим местом оператора является любое устройство с браузером с возможностью выхода в интернет.

Диспетчерские и операторские станции — это автоматизированные рабочие места, которые располагаются в различных зданиях или помещениях и объединены или могут объединяться в локальную сеть образуя информационно – вычислительный комплекс. Данные места могут быть идентичными по типу получаемых данных или могут различаться из-за особенностей работы контролируемого участка и его обслуживающего персонала.

3.2 Описание структуры автоматизированной системы диспетчерского контроля насосной станции

Информация с повышающей насосной станции отправляется на сервер по оптоволоконной линии связи, далее сервер обрабатывает и сохраняет информацию и предоставляет доступ через Ethernet всем авторизованным

пользователям и автоматизированным рабочим местам. На автоматизированном рабочем месте оператора подключение к серверу осуществляется через линию связи из витой пары и коммутатора (L3) третьего уровня. Автоматизированное рабочее место обычно находится недалеко от сервера, доступ к серверу осуществляется через линию связи из витой пары и не требует применение коммутатора третьего уровня. Таким образом при использовании SCADA систем можно создать автоматизированную систему диспетчеризации сразу нескольких повышающих насосных станций и выводить её на всех авторизированных устройствах в локальной вычислительной сети сразу в нескольких автоматизированных рабочих местах [11].

Информацию с датчиков давления контроллер получает на аналоговые входы. Далее контроллер используя полученные значения выполняет программу и через выход Ethernet по витой паре передает данные на медиа конвертер, который по оптоволоконной линии связи передает её на сервер. HMI панель получает данные выполняемой контроллером программы по стандарту RS – 232 и визуализирует её. Сервер в свою очередь архивирует и предоставляет доступ к трансляции выполняемой программы. Сервер предоставляет доступ к просмотру или управлению HMI панелью через оптоволоконную линию связи [11].

После рассмотрения технологического процесса повышающей насосной станции и системы диспетчеризации следует выбор электрооборудования, необходимого для работы.

4. Выбор асинхронного двигателя, расчет параметров и определение статических характеристик

4.1 Выбор электродвигателя

На основании технического задания, приведенного выше, требуется выбрать электродвигатель для работы насоса. Исходными параметрами для выбора электродвигателя являются производительность и напор насоса. Соответственно, осуществляется расчет для выбора электродвигателя.

Мощность электродвигателя для насоса рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{расч}} = K_z \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot 3600} = 1,1 \cdot \frac{9,81 \cdot 200 \cdot 20}{0,82 \cdot 3600} = 14,622 \text{ кВт},$$

Где K_z – коэффициент запаса; Q – производительность насоса, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$; H – напор, м; η_n – КПД насоса;

Для выбора электродвигателя необходимо, чтобы его мощность была равна или больше мощности рас

четной:

$$P_{\text{дв.ном}} \geq 14,622 \text{ кВт}.$$

Выбирается асинхронный двигатель АИР160М2 с каталожными данными:

$P_n = 18,5 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{1n} = 380 \text{ В}$ – номинальное линейное напряжение;

$n_0 = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ – синхронная частота вращения;

$s_n = 3\%$ – номинальное скольжение двигателя;

$\eta_n = 0,9$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 % нагрузка);

$\cos \varphi_n = 0,9 \text{ о. е.}$ – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_n}{I_H} = 7,5 \text{ о. е.}$ – кратность пускового тока;

$k_n = \frac{M_n}{M_H} = 2,2 \text{ о. е.}$ – кратность пускового момента;

$k_{\text{max}} = \frac{M_k}{M_H} = 2,3 \text{ о. е.}$ – кратность максимального момента;

$J_{дв} = 0,055 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – динамический момент инерции.

4.2 Параметры схемы замещения асинхронного двигателя

Схема замещения используется для расчета параметров, необходимых для построения статических характеристик. В качестве схемы замещения используется Т-образная схема замещения для одной фазы, приведенная на рисунке 4.1.

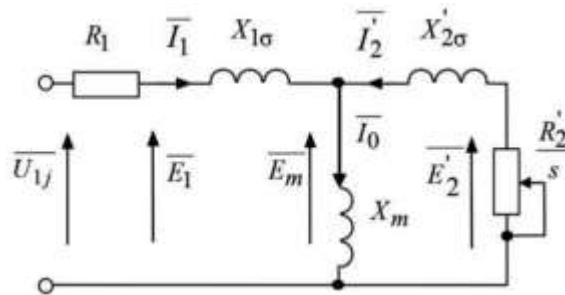


Рисунок 4.1. Т-образная схема замещения АД для одной фазы

Уравнения, соответствующие данной схеме:

$$\begin{cases} \overline{U_{1\phi}} - \overline{E_m} - jX_{1\sigma}\overline{I_1} = 0 \\ \overline{E_m} + jX'_{2\sigma}\overline{I'_2} + \frac{R'_2\overline{I'_2}}{s} = 0 \\ \overline{I_1} + \overline{I'_2} - \overline{I_0} = 0 \end{cases}$$

Где $\overline{U_{1\phi}} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \approx 220 \text{ В}$ – фазное напряжение обмотки статора.

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

I_1 – ток обмотки статора;

E_1 – ЭДС обмотки статора;

R'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке

$X'_{2\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора,

приведенное к обмотке статора;

s – скольжение;

ω_0 – синхронная угловая скорость;

ω – угловая скорость асинхронного двигателя;

$2p$ – число полюсов;

f_1 - значение частоты напряжения переменного тока, подводимого к обмотке статора;

E_m - ЭДС от главного магнитного потока машины;

E'_2 - ЭДС обмотки ротора, приведенная к обмотке статора

На рисунке 4.2 проиллюстрирована векторная диаграмма асинхронного двигателя.

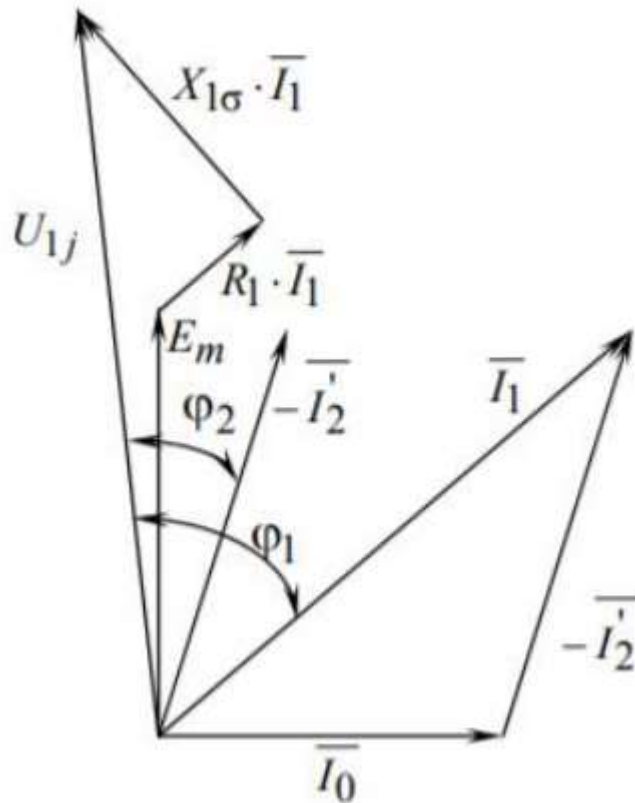


Рисунок 4.2. Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Нахождение параметров асинхронного двигателя согласно каталожным данным:

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$\omega_n = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,03) \cdot 314 = 304,734 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{18500}{304,734} = 60,709 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$\begin{aligned} I_0 &= \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} \\ &= \sqrt{\frac{28,014^2 - (0,75 \cdot 34,799 \cdot (1 - 0,03) / (1 - 0,75 \cdot 0,03))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,03) / (1 - 0,75 \cdot 0,03))^2}} \\ &= 12,044 \text{ А}. \end{aligned}$$

$$\text{Где } I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 34,799 \text{ А} -$$

номинальный ток статора двигателя;

$$\begin{aligned} I_{11} &= \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0,75 \cdot 18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,872 \cdot 0,9} \\ &= 28,014 - \text{ток статора двигателя при частичной нагрузке;} \end{aligned}$$

$$\eta_{p^*} = \eta_H = 0,9 - \text{КПД при частичной нагрузке;}$$

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,872 - \text{коэффициент мощности при частичной нагрузке;}$$

$$p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75 - \text{коэффициент загрузки двигателя;}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем $\beta = 1$ (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений ротора и статора):

$$\begin{aligned} s_k &= s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} \\ &= 0,03 \cdot \frac{\sqrt{2,3^2 - (1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1)} = 0,175 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{12,044}{2 \cdot 7,5 \cdot 34,799} = 1,025;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,03)}{2 \cdot 1,025 \cdot 2,3 \cdot 18500} = 1,376.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1} = \frac{1,376}{\left(1 + \frac{1}{0,175}\right) \cdot 1,025} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,025 \cdot 0,2 \cdot 1 = 0,205 \text{ Ом.}$$

Определение параметра γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,175^2} - 1^2} = 5,637.$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 5,637 \cdot 1,025 \cdot 0,2 = 1,153 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, необходимо воспользоваться соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 1,153}{1,025} = 0,653 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 1,153 = 0,484 \text{ Ом.}$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1\sigma} \cdot I_{1H})^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 0,205 \cdot 34,799)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,9^2} - 0,484 \cdot 34,799)^2} \\ &= 198,86 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu\text{H}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{198,86}{12,044} = 16,511 \text{ Ом.}$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{H}}} = \frac{0,484}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,542 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{H}}} = \frac{0,653}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,078 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu\text{H}} = \frac{X_{\mu\text{H}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{H}}} = \frac{16,511}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,053 \text{ Гн.}$$

Параметры схемы замещения сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1. Параметры схемы замещения

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, Гн	X_{KH} , Ом
0,205	0,484	$1,542 \cdot 10^{-3}$	16,51	0,053	0,2	0,653	$2,078 \cdot 10^{-3}$	1,153

Номинальный электромагнитный момент двигателя:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{эм.н}} = M_{\text{эм.н}}(s_{\text{H}}) &= \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_{\text{H}} \cdot \left[(X_{\text{KH}}^2 + (R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{H}}})^2 + (\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_{\text{H}} \cdot X_{\mu}})^2 \right]} = \\
 &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,2}{314,159 \cdot 0,03 \cdot \left[1,153^2 + (0,205 + \frac{0,2}{0,03})^2 + (\frac{0,205 \cdot 0,2}{0,03 \cdot 16,511})^2 \right]} = \\
 &= 63,566 \text{ Н} \cdot \text{м.}
 \end{aligned}$$

Момент сопротивления от сил трения на валу:

$$M_c = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{H}} = 63,566 - 60,709 = 2,857 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4.3 Расчет естественных характеристик двигателя

Чтобы построить естественную механическую характеристику требуется найти критический момент двигателя:

$$M_K = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}]} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314,159 \cdot 1,025 \cdot [0,205 + \sqrt{0,205^2 + 1,153^2}]} = 163,913 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Задаваясь диапазоном скольжения от 1 до 0, строится механическая характеристика асинхронного двигателя по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + a \cdot s_K)}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K} + 2 \cdot a \cdot s_K},$$

$$\text{Где } a = \frac{R_1}{R'_2} = \frac{0,205}{0,2} = 1,025.$$

Значения по оси скорости рассчитываются по выражению:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя приведена на рисунке 4.3.

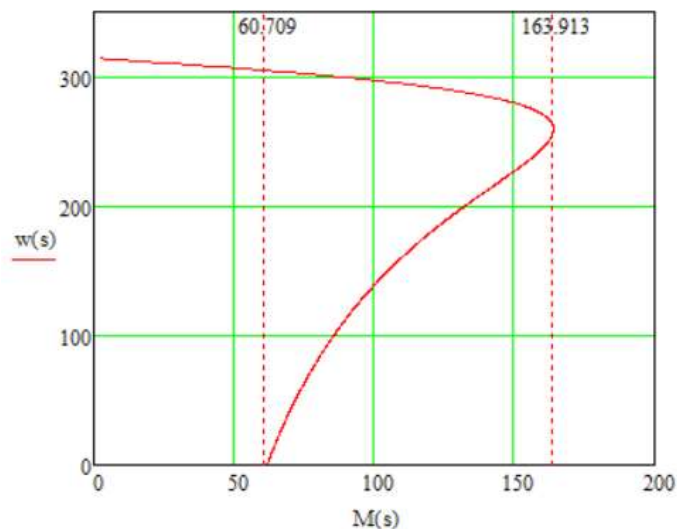


Рисунок 4.3. Естественная механическая характеристика двигателя

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя представляет собой зависимость тока статора от скорости. Полагая ток

намагничивания I_0 реактивным ($I_{0A} = 0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора можно найти по формуле:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + (I'_2(\omega))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_2(\omega)},$$

Где:

$$I'_2(\omega) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}};$$

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}.$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до ω_0 , строится электромеханическая характеристика асинхронного двигателя по формулам для токов обмоток статора и ротора.

Естественные электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунках 4.4, 4.5.

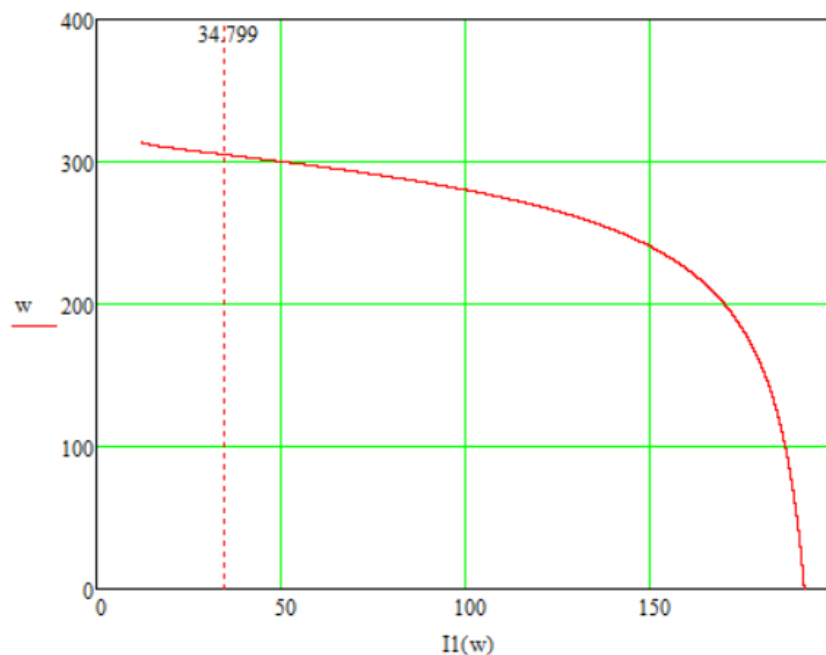


Рисунок 4.4. Естественная электромеханическая характеристика двигателя

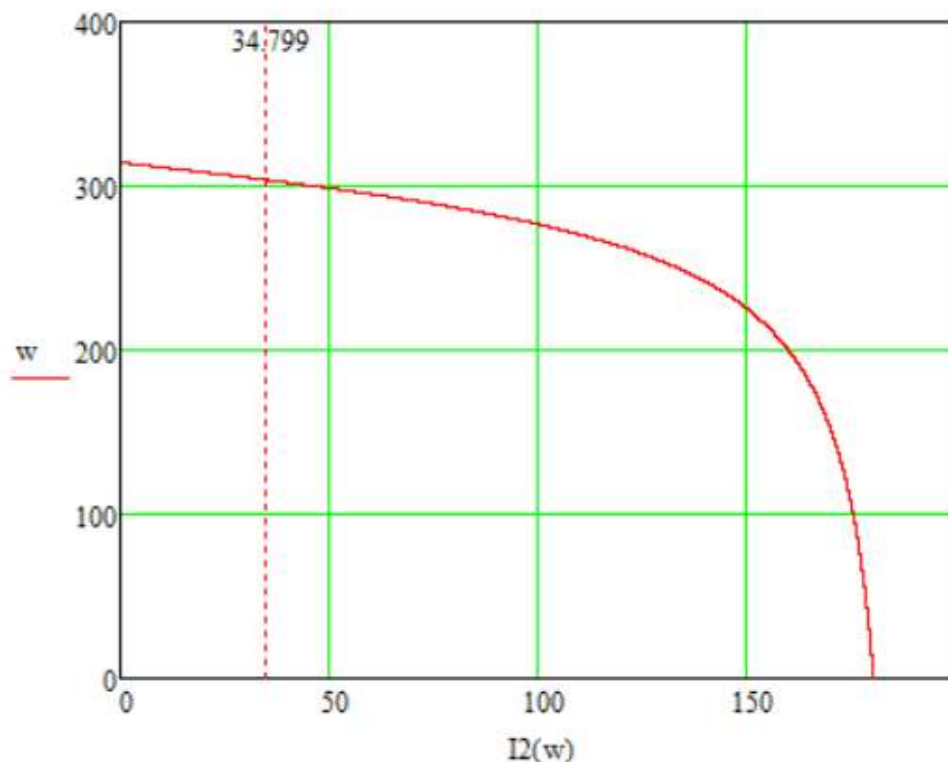


Рисунок 4.5. Естественная электромеханическая характеристика двигателя

Выбор закона регулирования и определение частот инвертора

С учетом того, что диапазон регулирования скорости насосов невелик и механизмы такого класса не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования U_1/f_1 могут быть приняты законы $U_1/f_1 = const$ и $U_1/f_1^2 = const$.

Поскольку насосы обладают нелинейной возрастающей характеристикой, которая зависит от угловой частоты вращения, то для следующих расчетов выбирается закон регулирования, при котором отношение $\frac{U}{f^2}$ является постоянным.

Максимальная скорость вращения электропривода равна номинальной угловой частоте вращения:

$$\omega_{\text{эп.макс}} = \omega_{\text{н}} = 304,734 \frac{\text{радиан}}{\text{с}}.$$

Согласно требуемому диапазону принимается минимальная скорость вращения электропривода:

$$\omega_{\text{эп.мин}} = \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{3} = \frac{304,734}{3} = 101,578 \frac{\text{радиан}}{\text{с}}.$$

Определение частот преобразовательного устройства, необходимых для обеспечения требуемых угловых частот вращения, находятся совместным решением уравнения механической характеристики и насосной нагрузки:

$$\frac{3 \cdot [U_1(f_1)]^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} = M_c(\omega),$$

Где:

$$U_1/f_1 = U_{1\Phi H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 - \text{вольт-частотная характеристика}$$

при выбранном законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$;

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= 0,05 \cdot M_{дв.н} + 0,95 \cdot M_{дв.н} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^3 \\ &= 0,05 \cdot 60,709 + 0,95 \cdot 60,709 \cdot \left(\frac{\omega}{304,734} \right)^3 \\ &= 3,035 + 2,038 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3 - \text{насосная нагрузка.} \end{aligned}$$

Для нахождения частот преобразователя применяется система автоматизированного проектирования Маткад.

Для наибольшей скорости:

$$\frac{3 \left[U_{1\Phi} \cdot \left(\frac{f_{min}}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{min}}{z_p} - \frac{w_{ymax}}{1} \right) \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_{min}}{f} \right)^2 + \left[R_1 + \frac{R_2}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{min}}{z_p} - \frac{w_{ymax}}{1}} \right]^2 + \left[\frac{R_1 \cdot R_2}{X_{KH} \cdot \frac{f_{min}}{f} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{min}}{z_p} - \frac{w_{ymax}}{1}} \right]^2 \right]} - 0,05 \cdot M_n - 0,95 \cdot M_n \cdot \left(\frac{w_{ymax}}{w_{ymax} \cdot 1} \right)^3 \text{ solve , fmin} \rightarrow$$

49.972384259767875475
48.49999999999999999616
48.49999999999999999616
19.452737486938651117 + 39.166854318186322241i
19.452737486938651117 - 39.166854318186322241i
1.6875372211901859593 + 9.1960086661258616198i
1.6875372211901859593 - 9.1960086661258616198i

Принимается наибольшая частота инвертора: $f_{и.макс} = 50$ Гц.

Для наименьшей скорости:

$$\frac{3 \left[U_{1\Phi} \cdot \left(\frac{f_{min}}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{min}}{z_p} - \frac{w_{ymax}}{n} \right) \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_{min}}{f} \right)^2 + \left[R_1 + \frac{R_2}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f_{min}}{z_p} - \frac{w_{ymax}}{n}} \right]^2 + \left[\frac{R_1 \cdot R_2}{X_{KH} \cdot \frac{f_{min}}{f} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{min}}{z_p} - \frac{w_{ymax}}{n}} \right]^2 \right]} - 0,05 \cdot M_n - 0,95 \cdot M_n \cdot \left(\frac{w_{ymax}}{w_{ymax} \cdot n} \right)^3 \text{ solve , fmin} \rightarrow$$

17.482852442363313886
16.166666666666666665386
16.166666666666666665386
5.209055371739874762 + 4.8680062373808443787i
5.209055371739874762 - 4.8680062373808443787i
-4.0035973807945180306 - 9.7426506826070603797i
-4.0035973807945180306 + 9.7426506826070603797i

Где n=3.

Принимается наименьшая частота инвертора: $f_{и.мин} = 17$ Гц.

Расчет искусственных характеристик системы преобразователь частоты-электродвигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$

Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$ для ряда выбранных значений выходной частоты преобразователя частоты в интервале от 17 до 50 Гц определяются по выражению:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot (f_1) \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]}$$

Где:

$$U_1/f_1 = U_{1\Phi H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 ; \omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).$$

Согласно проведенному расчету, на рисунке 4.6 отображено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы частотный преобразователь-электродвигатель при разных частотах.

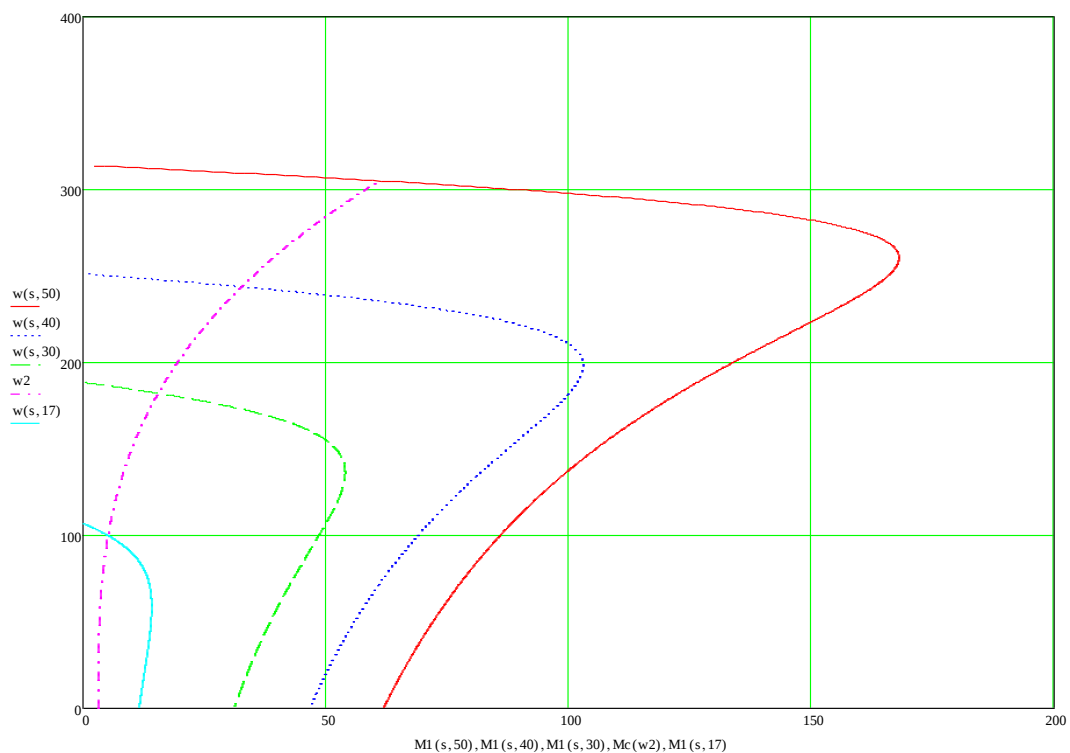


Рисунок 4.6. Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$

Электромеханические характеристики $w(I_1)$ системы преобразователь частоты-электродвигатель определяются для ранее выбранных значений частоты по выражению:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}},$$

Согласно проведенному расчету, на рисунке 4.7 показано семейство электромеханических характеристик $w(I_1)$ системы преобразователь частоты-электродвигатель.

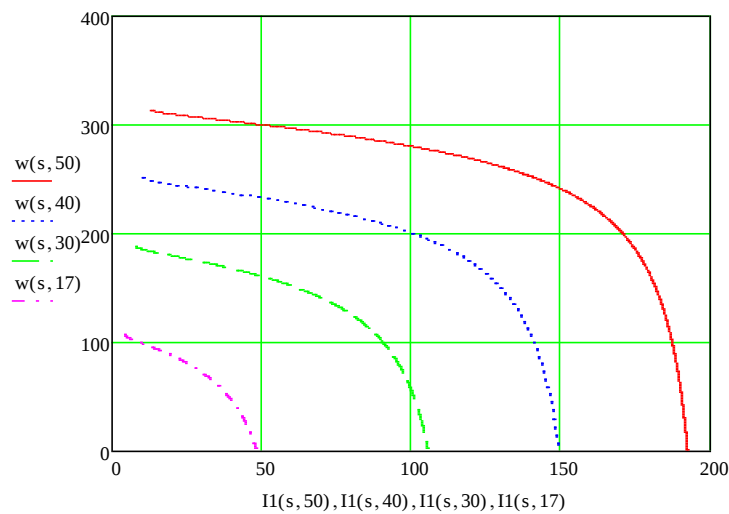


Рисунок 4.7. Электромеханические характеристики электропривода $w(I_1)$ при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$

4.4 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя

Структурная схема имитационной модели асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора изображена на рисунке 4.8.

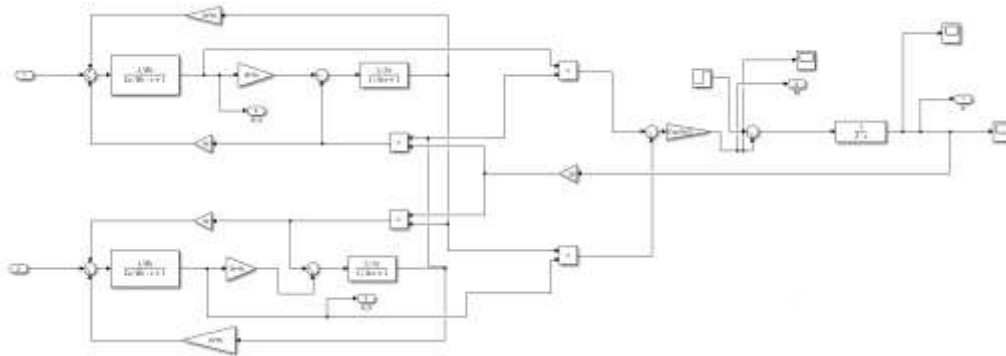


Рисунок 4.8. Структурная схема имитационной модели асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

Переходные процессы в асинхронном электродвигателе по схеме прямого подключения в сеть и набросе номинальной нагрузки представлены на рисунке 4.9.

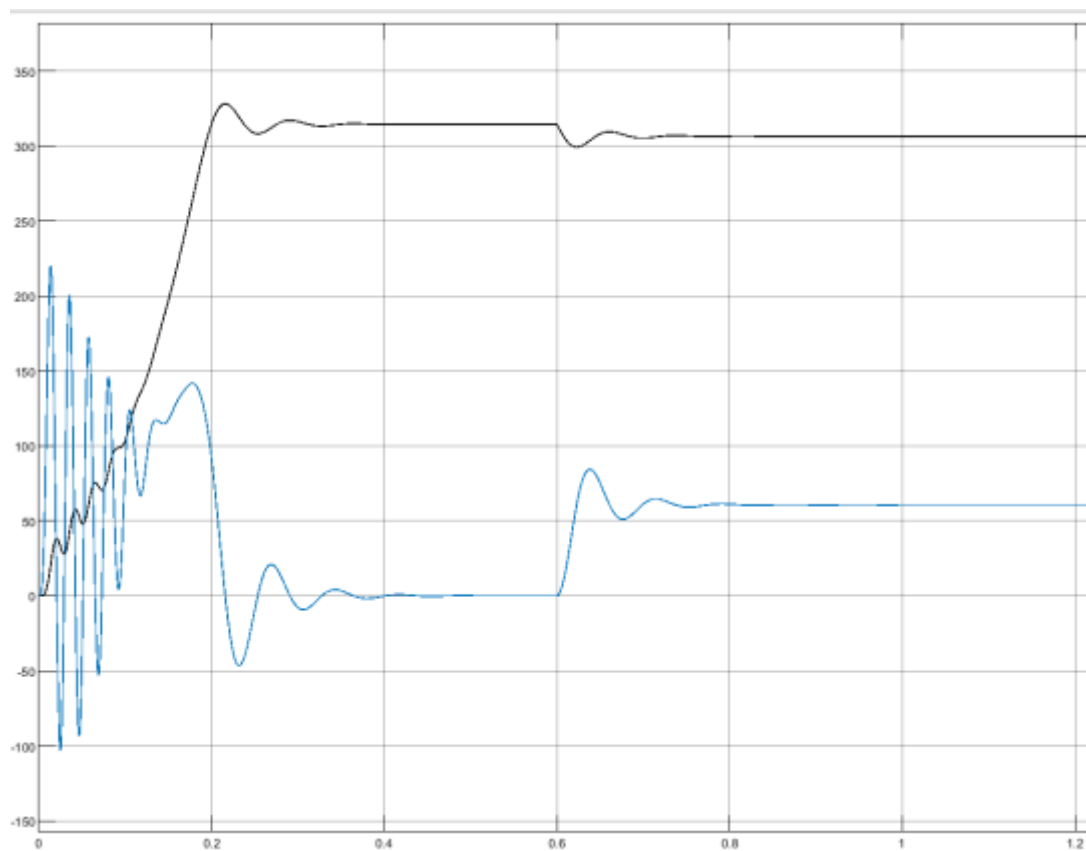


Рисунок 4.9. Переходные процессы в асинхронном электродвигателе при прямом подключении в сеть и набросе номинальной нагрузки

По переходному процессу видно, что используемая имитационная модель двигателя адекватна, так как после подачи напряжения на обмотки статора электродвигатель выполняет разгон до синхронной угловой частоты вращения. При набросе номинальной нагрузки наблюдается просадка по частоте вращения, скорость и момент приходят в установившиеся номинальные значения.

Колебательность при пуске электродвигателя показывает, что необходимо использовать плавный пуск, который ограничит значения пусковых токов и момента.

Для регулирования угловой частоты вращения электродвигателя необходимо использовать частотный преобразователь, разработка имитационной модели которого приведена в следующем подразделе.

4.5 Имитационная модель силового канала электропривода

Структурная схема имитационная модели частотного преобразователя и электропривода со скалярным управлением изображена на рисунке 4.10.

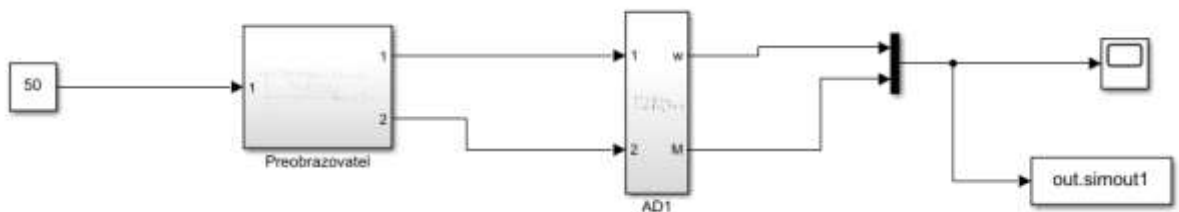


Рисунок 4.10. Имитационная модель силового канала электропривода

Схема модели двухфазного преобразователя частоты, представленной системой “Preobrazovatel” проиллюстрирована на рисунке 4.11.

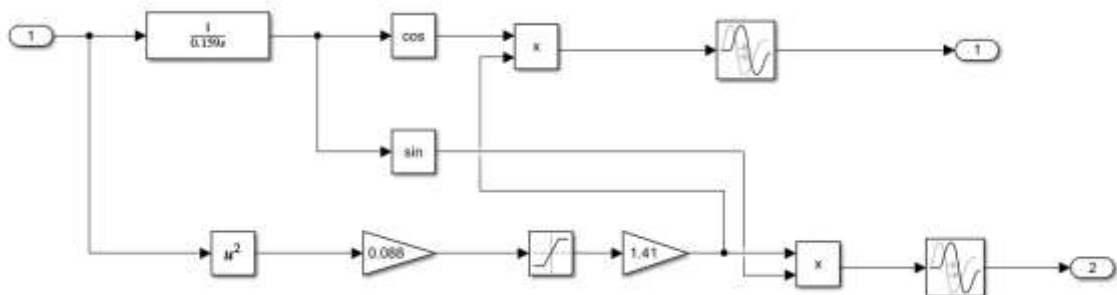


Рисунок 4.11. Схема модели двухфазного преобразователя частоты

Где элементы схемы, изображенные на рисунке 4.12 реализуют математическую функцию $U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 = 0,088 \cdot f_1^2$.

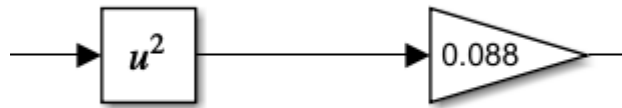


Рисунок 4.12. Элементы схемы, реализующие математическую функцию

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 = 0,088 \cdot f_1^2$$

Подсистема “AD1”, изображенная на рисунке 4.13, представляется моделью асинхронного электродвигателя, изображенной на рисунке 4.8, дополненной насосной нагрузкой:

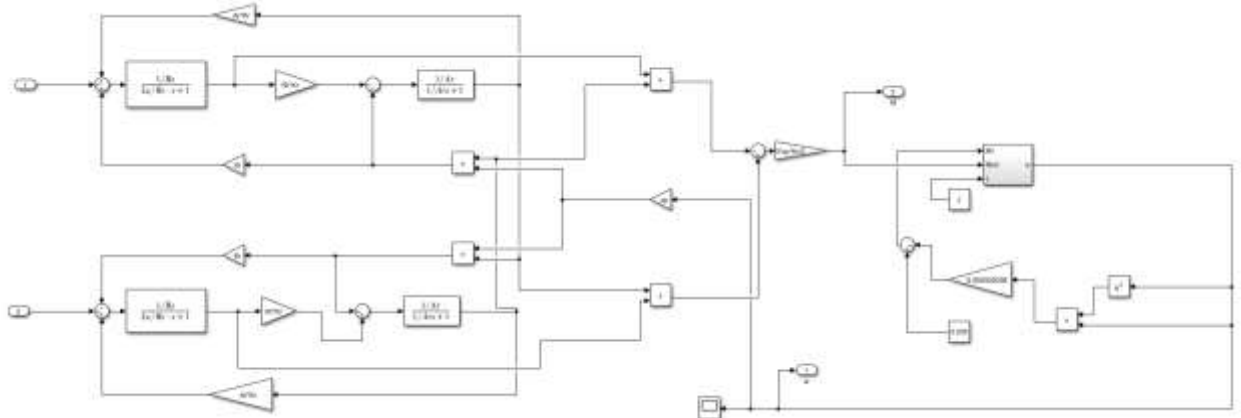


Рисунок 4.13. Подсистема “AD”

На рисунке 4.14 отображена часть подсистемы, отображающая насосную нагрузку.

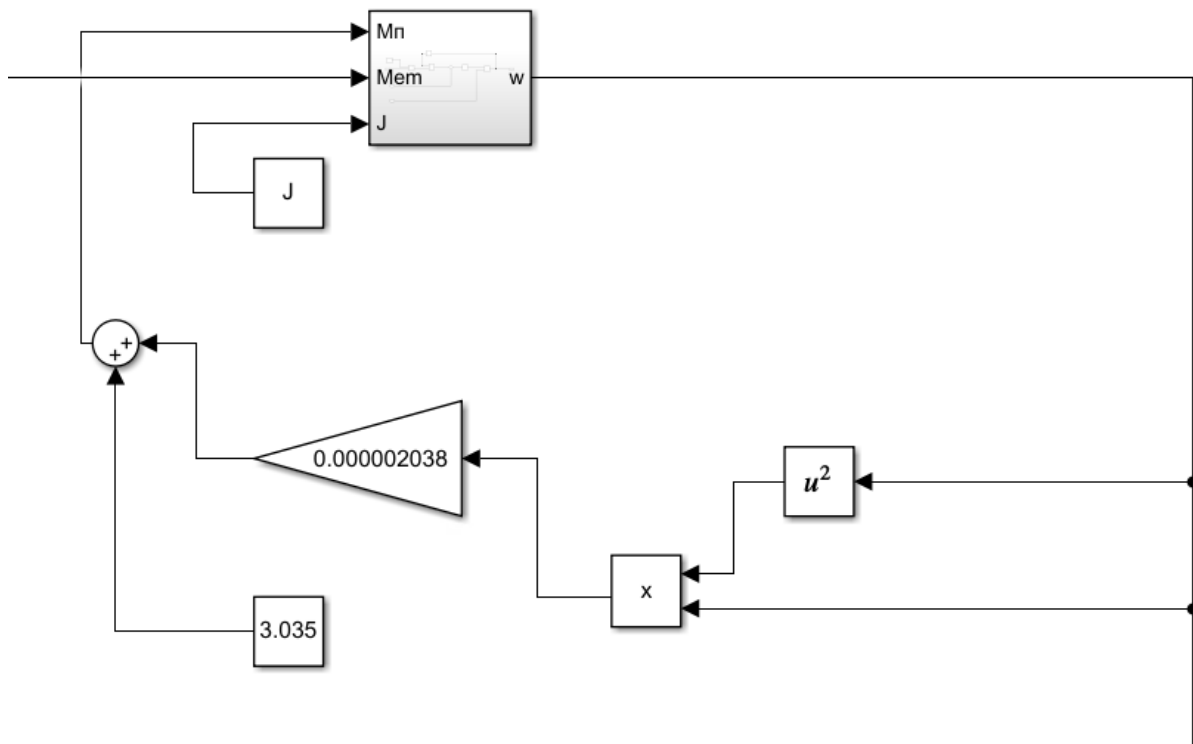


Рисунок 4.14. Элементы схемы, реализующие “вентиляторную” нагрузку

Блок, включенный в “вентиляторную” нагрузку, является имитацией реактивной нагрузки. Его схема представлена на рисунке 4.15.

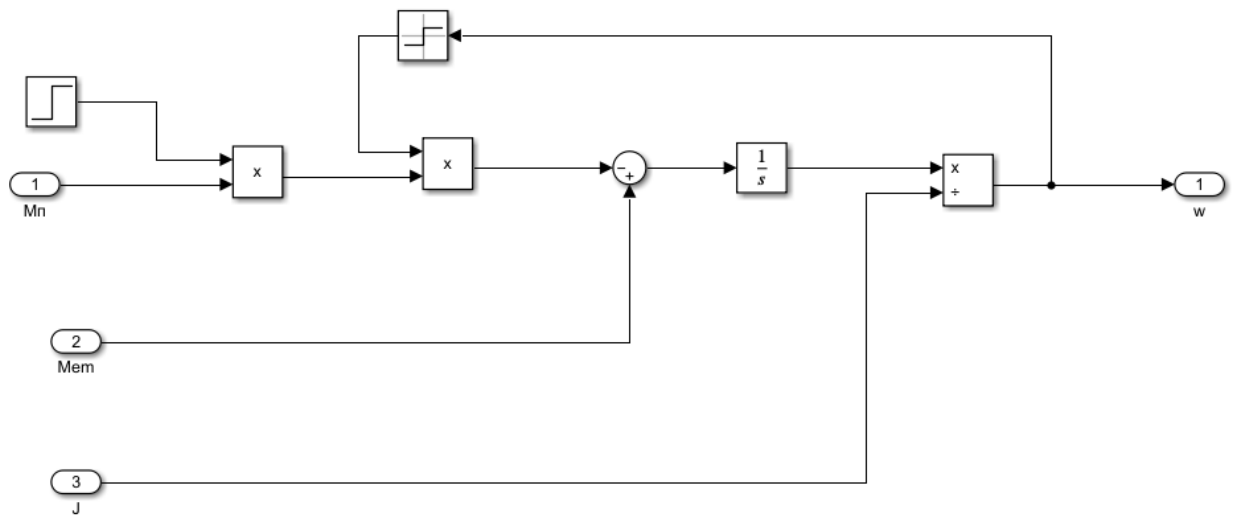


Рисунок 4.15. Блок реактивной нагрузки

Переходные процессы по угловой частоте вращения и моменту электропривода при разных частотах изображены на рисунках 4.16-4.19.

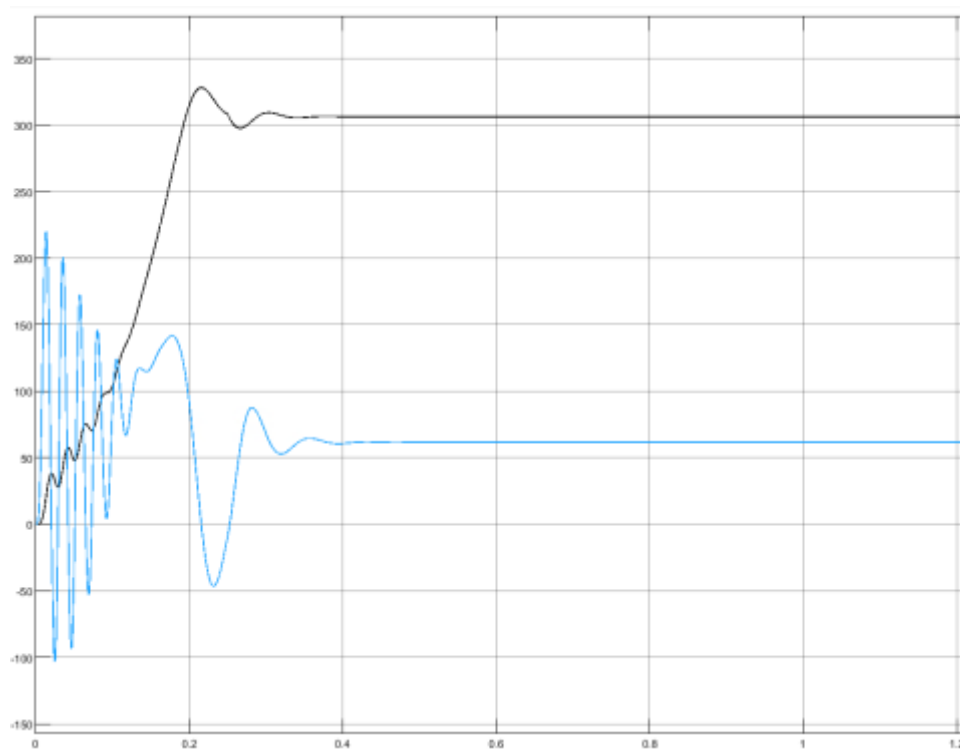


Рисунок 4.16. Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования $U/f^2 = const$ при значении частоты $f = 50$ Гц

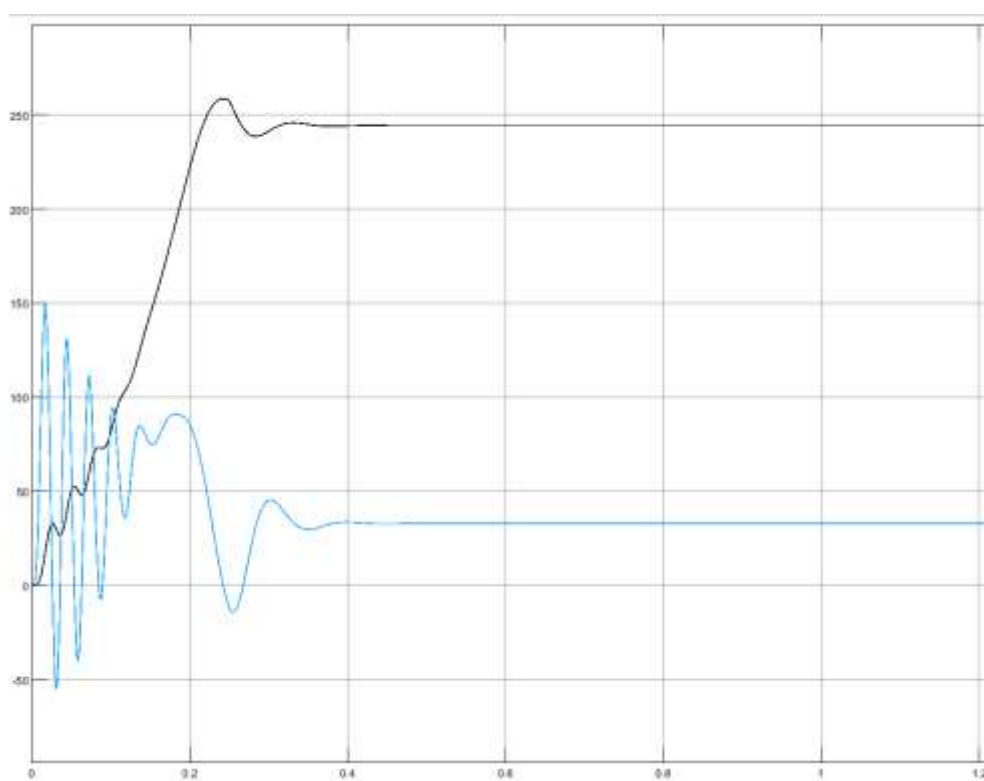


Рисунок 4.17. Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования $U/f^2 = const$ при значении частоты $f = 40$ Гц

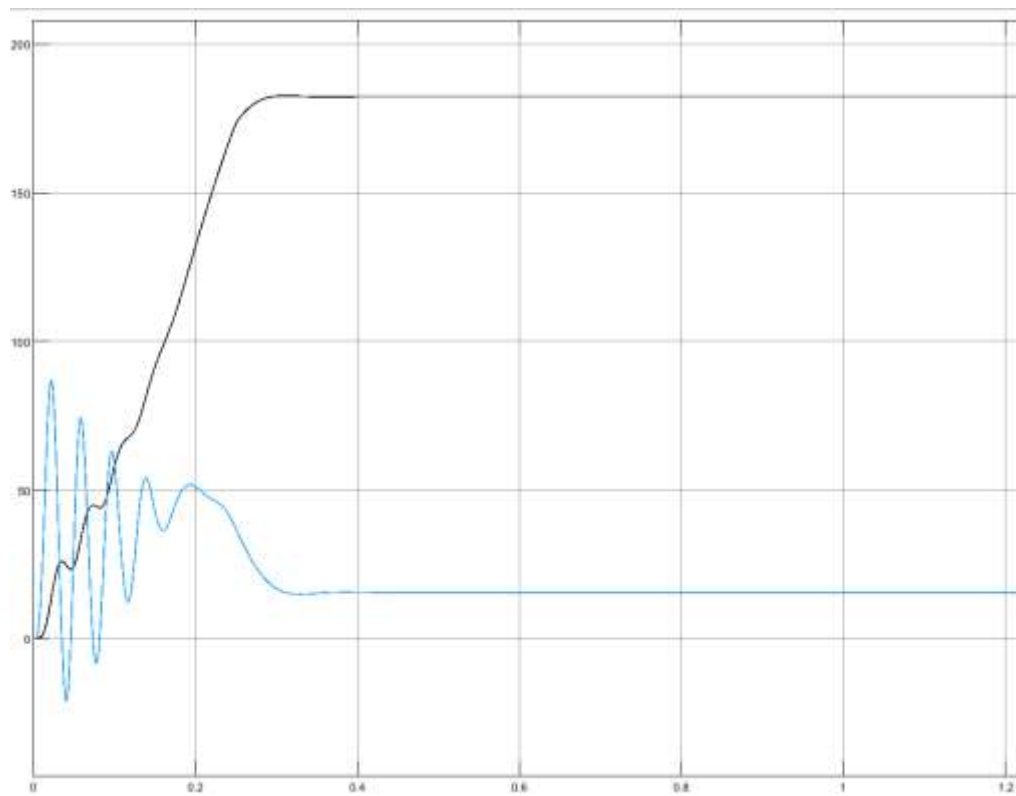


Рисунок 4.18. Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования $U/f^2 = const$ при значении частоты $f = 30$ Гц

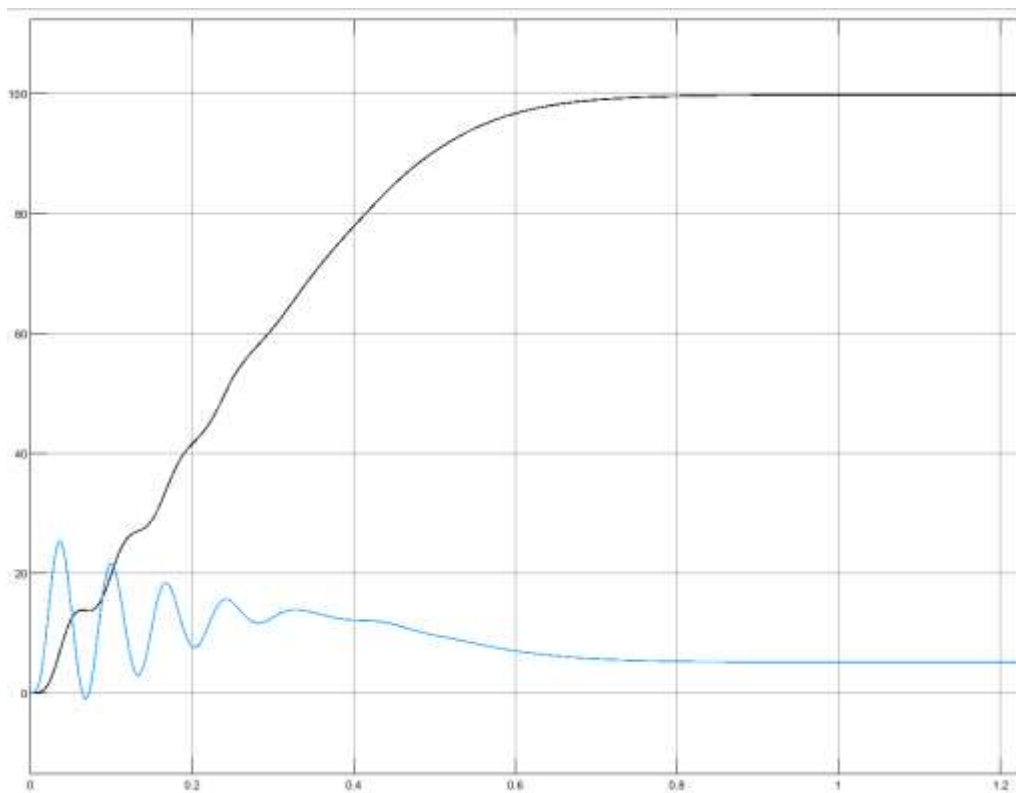


Рисунок 4.19. Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования $U/f^2 = const$ при значении частоты $f = 17$ Гц

Переходные процессы по угловой частоте вращения и моменту с использованием задатчика интенсивности при разных частотах представлены на рисунках 4.22-4.25.

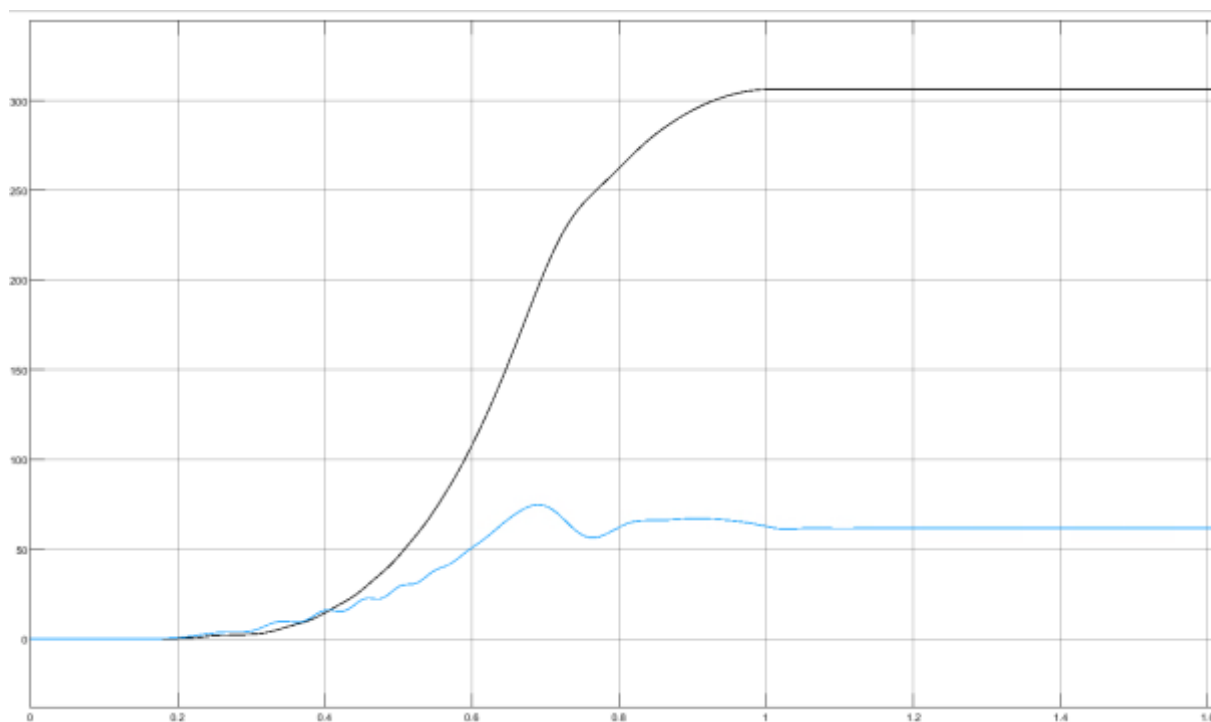


Рисунок 4.22. Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f = 50$ Гц

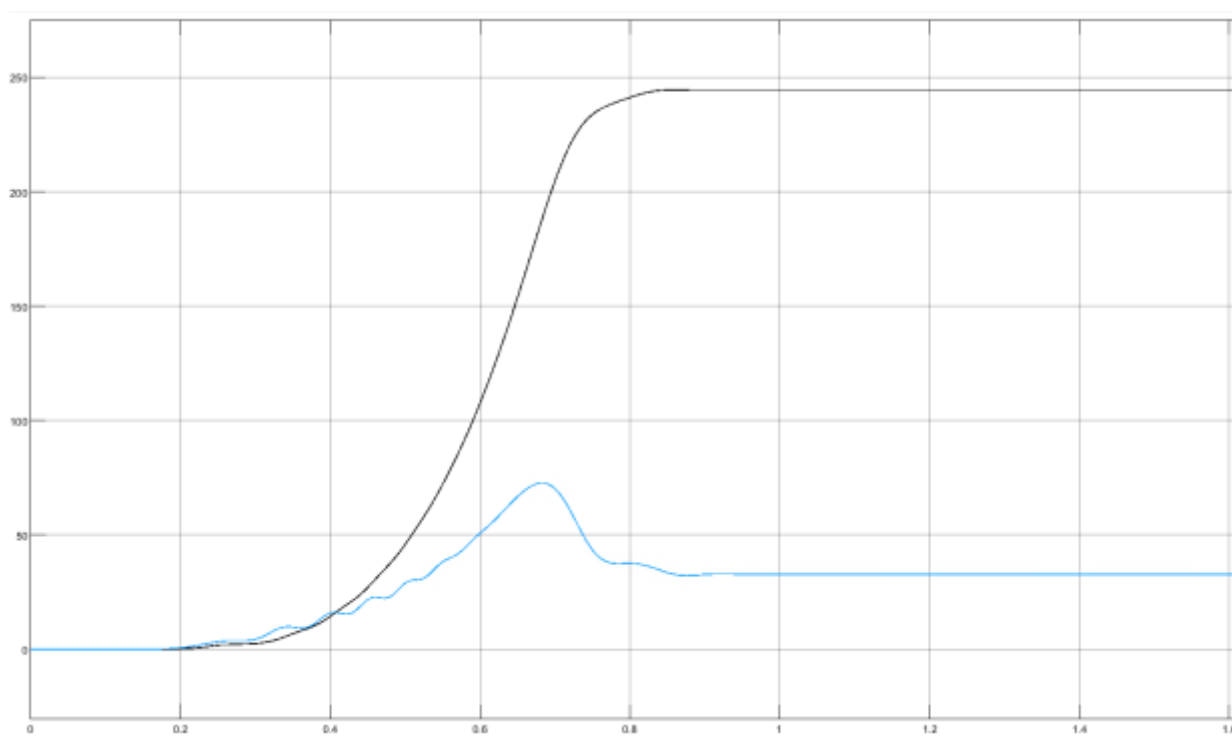


Рисунок 4.23. Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f = 40$ Гц

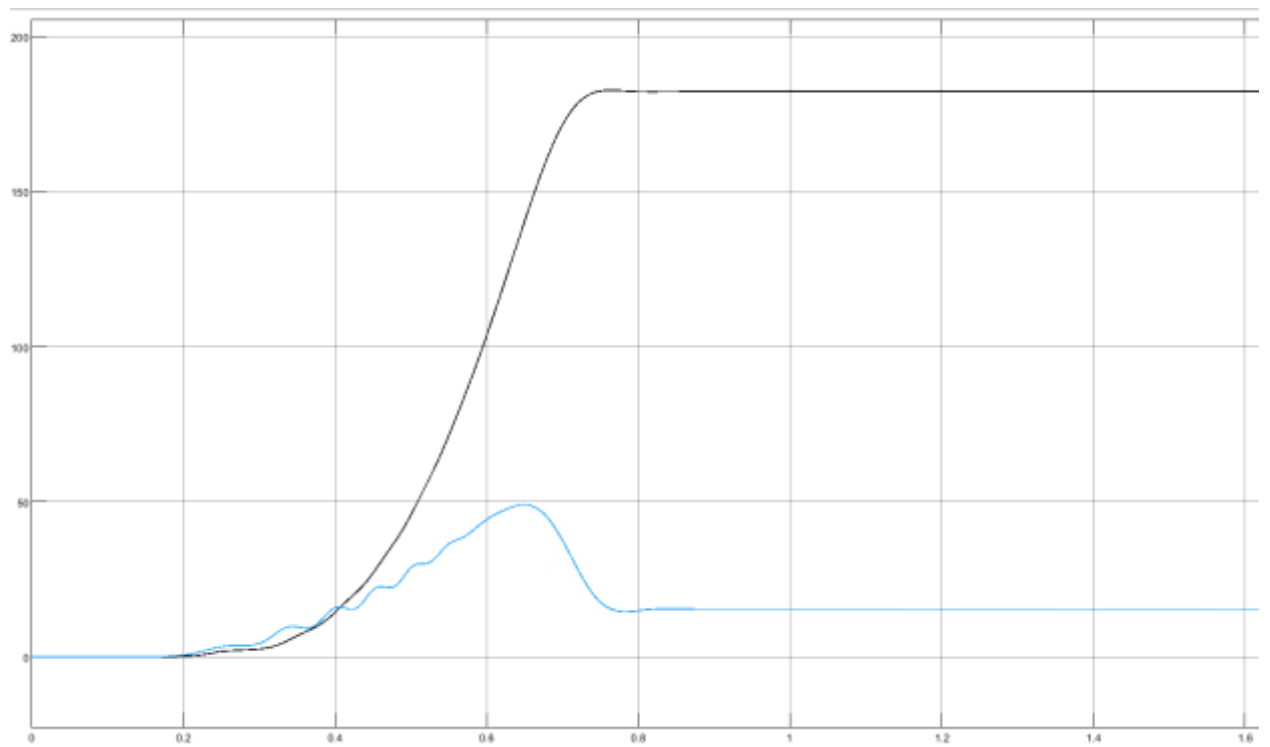


Рисунок 4.24. Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f = 30$ Гц

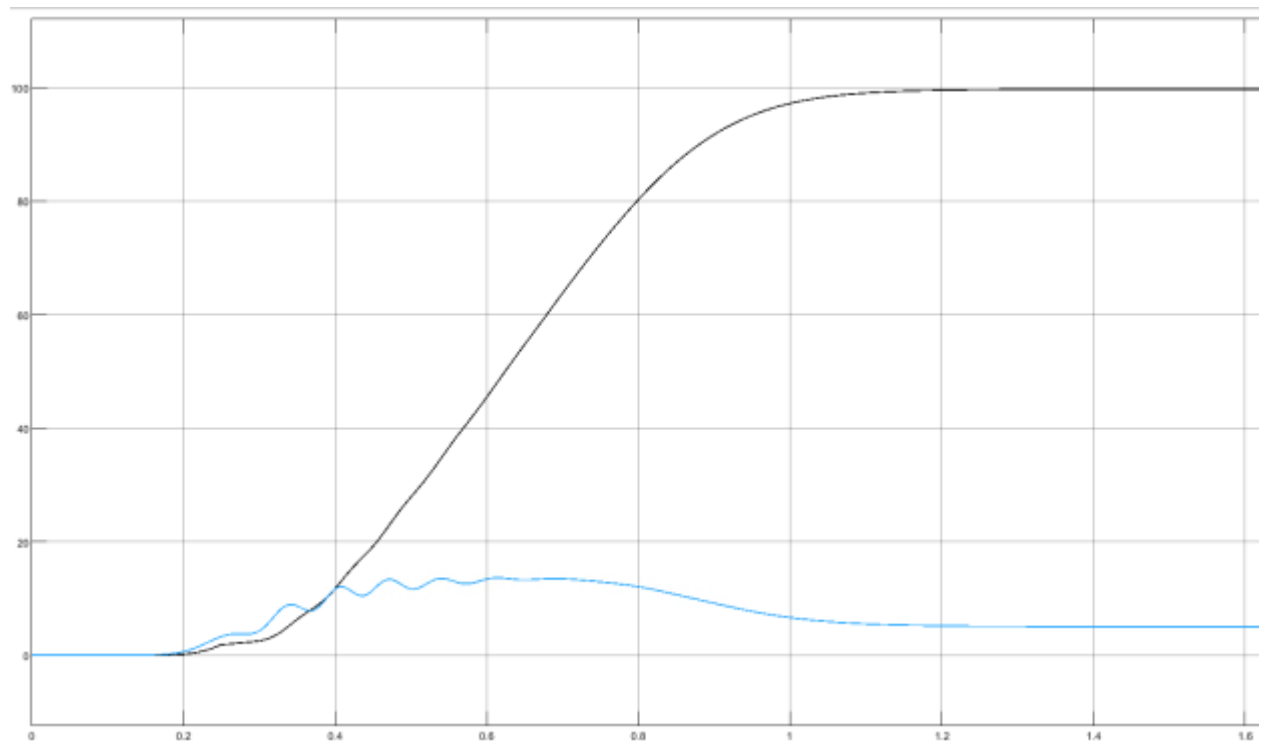


Рисунок 4.25. Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f = 17$ Гц

Для анализа эффективности применения задатчика интенсивности в таблицу 4.2 занесены значения наибольших пусковых моментов при его использовании и при его отсутствии.

Таблица 4.2. Анализ эффективности использования задатчика интенсивности по наибольшим значениям пусковых моментов

	$f = 50$ Гц	$f = 40$ Гц	$f = 30$ Гц	$f = 17$ Гц
С задатчиком интенсивности	74,69	72,74	49,085	13,658
Без задатчика интенсивности	220,09	150	86,755	25,25

Анализ эффективности показывает, что при использовании плавного пуска за счет задатчика интенсивности наблюдаются весомые уменьшения пусковых моментов. Также уменьшается колебательность переходных процессов.

Результаты вычисления сведены в таблицу для выбора комплектующих шкафа.

5. Выбор электрооборудования

5.1 Выбор преобразователя частоты

Выбор преобразователя частоты происходит по номинальному току I_n и мощности электродвигателя. Был выбран частотный преобразователь VF-51-P18K-0038-T4-E20-B-H, параметры которого представлены в таблице ниже.

Таблица 5.1. Каталожные данные преобразователя частоты VF-51-P18K-0038-T4-E20-B-H

Тип	Напряжение и частота сети		Диапазон выходного напряжения U_n , В	Диапазон выходной частоты f_n , Гц	Значения номинального и пускового токов		Рекомендуемая мощность электродвигателя P_2 , кВт
	$U_{1л}$, В	f_c , Гц			$I_{ин}$, А	$I_{и.ма}$	
VF-51-P18K-0038-T4-E20-B-H	3x380	50	0-380	0-200	38	57	18,5

Для подключения частотного преобразователя выбирается силовой кабель ВВГнг 5x10 сечением 6 мм².

5.2 Выбор датчика давления

Устройства получения информации о состоянии технологического процесса предназначены для сбора и преобразования информации без изменения её содержания о контролируемых и управляемых параметрах технологического процесса. Входом устройств являются естественные или унифицированные сигналы, выходом – соответствующие значения унифицированных сигналов [12].

К устройствам для получения информации о состоянии процесса, образующим канал сбора и преобразования информации, относят чувствительные элементы или собственно датчики.

Выбирается датчик давления MBS 1700, изображенный на рисунке Б.1 в приложении Б. Характеристики датчика приведены в таблице Б.1 в приложении Б.

5.3 Выбор контакторов и автоматов защиты

По номинальному току и мощности был выбран контактор фирмы Danfoss серии CI 37, изображенный на рисунке 5.1. Технические характеристики контактора представлены в таблице Б.2 в приложении Б [13].



Рисунок 5.1. Контактор CI 37

Для подключения контакторов используется провод сечением 4 мм².

Для защиты электрооборудования от короткого замыкания и перегрузки выбирается автоматический выключатель. Изображение автоматического выключателя представлено на рисунке 5.2.

$$I_{\text{тепл.расц}} = 1,2 \cdot I_{\text{ном}} = 1,2 \cdot 34,999 = 41,99 \text{ A};$$

$$I_{\text{отс}} = \frac{1,2 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл.расц}}} = \frac{1,2 \cdot 7,5 \cdot 34,799}{41,99} = 7,45 \text{ A};$$

$$I_{\text{кз}} = 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 7,5 \cdot 34,799 = 391,488 \text{ A};$$

Выбирается автоматический выключатель ВА 88-32 с $I_{\text{н}} = 50 \text{ A}$, $I_{\text{кз}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 500 \text{ A}$.



Рисунок 5.2. Автоматический выключатель ВА 88-32

5.4 Выбор предохранителей

Условие выбора предохранителя:

$$I_{\text{пп}} \geq I_{\text{ном.дв}}$$

Выбирается плавкая вставка ППНИ-33 с $I_{\text{пп}} = 40 \text{ A}$.



Рисунок 5.3. Плавкая вставка ППНИ-33

5.5 Выбор клеммных зажимов

Клеммные зажимы широко применяются как в бытовой электропроводке, так и в промышленном монтаже в местах, требующих повышенной надежности и виброустойчивости. Клеммные зажимы применяются для удобного соединения проводов. Были выбраны зажимы фирмы “WAGO”, устанавливающиеся на DIN-рейку (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4. Клемма фирмы WAGO

5.6 Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики

Перечень блоков компоновки шкафа приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Перечень блоков компоновки шкафа

Обозначение	Расшифровка
ПЧ	Преобразователь частоты (342хх183х170)
ПЛК	Программируемый логический контроллер
QF1-QF4	Автоматический выключатель (120х101х92)
K1	Контактор 1 (56х49х45)
K2	Контактор 2 (56х49х45)
K3	Контактор 3 (56х49х45)
K4	Контактор 4 (56х49х45)
K5	Контактор 5 (56х49х45)
K6	Контактор 6 (56х49х45)
K7	Контактор 7 (56х49х45)
K8	Контактор 8 (56х49х45)

Выбирается шкаф DKC ST с габаритами 800х600х400. В таблице 5.3 представлены характеристики шкафа.

Таблица 5.3. Характеристики шкафа DKC ST

Параметр	Значение
Вид установки	Навесной
Материал рамы	Сталь
Материал дверцы	Сталь
Материал корпуса	Сталь
Степень защиты	IP66
Цвет	Серый
Ревизионное окошко	Нет



Рисунок 5.5. Внешний вид шкафа DKC ST с габаритами 800х600х400

6. Перемещение файлов с Windows-компьютера на Linux-компьютер

Одной из первых задач, с которой может столкнуться пользователь, при работе с Linux-компьютером – перемещение файлов с Windows-компьютера, а также другие операции с файлами, такие как создание папок, перемещение папок из одной директории в другую, удаление папок и т.д.

6.1 Описание процедуры перемещения файлов

Процедура перемещения файлов не представляет особой сложности, но имеет некоторые особенности, с которыми предлагается ознакомиться. Перемещение файлов между двумя компьютерами возможно через FTP-протокол.

File Transfer Protocol, или протокол передачи файлов, — это протокол, относящийся к прикладному уровню и отвечающий за передачу данных между двумя системами. Как и протокол HTTP, он работает поверх протокола TCP. При передаче файлов FTP использует одновременно два TCP-канала: один из них отвечает за управление передачей данных, а второй — передает их [14].

FTP-соединение создается между клиентом и сервером, после чего они общаются друг с другом при помощи сети. Для этого пользователь может получить разрешение, предоставив учетные данные FTP-серверу, или использовать анонимный FTP.

При установлении FTP-соединения создаются два типа каналов связи, которые называются канал команд и канал данных.

Командный канал требуется для:

- передачи сообщений о тех или иных действиях
- ответов между клиентом и сервером (и наоборот).

Протокол FTP применяет тот же подход, что TELNET и SMTP, для связи посредством управляющего соединения. Для этого используется набор символов NVT ASCII. Общение осуществляется через порт 21.

Канал данных используется непосредственно для передачи информации и работает через порт 20.

FTP-клиент, применяя URL в качестве адреса (как и протоколы передачи гипертекста HTTP/S), посылает команду FTP и адрес клиента. После установки соединения пользователь выполняет авторизацию, вводя логин и пароль.

В зависимости от настроек сервера пользователь может получить к нему доступ без логина и пароля. Данная форма авторизации называется «Анонимный FTP». В таком случае на сервере заранее создана специальная учетная запись, которая разрешает авторизацию при любых данных, внесенных в поле пароля. После этого со стороны сервера выполняется проверка введенных данных и выдается разрешение/запрет на действия с данными. Клиент/Сервер обмениваются нужными файлами, после чего происходит выход из соединения.

Описание процедуры работы через FTP-протокол представлено в разделе 2 приложения В.

6.2 Принцип работы ПЛК на языке Python

Modbus-сервер используется для сбора показаний с датчиков, управления реле и контроллерами, мониторинга и т.д. [17]. Для разработки основного кода и отладки можно использовать персональный компьютер, где вместо контроллера на ядре Debian используется виртуальная машина на базе программного обеспечения Virtual Box. В конечном итоге после успешной разработки программного обеспечения Debian ядра переносится в действующий контроллер на базе Raspberry Pi или Orange Pi. Modbus-сервер нужен для организации глобальных переменных контроллера, с которыми взаимодействуют основные программы, обеспечивающие технологический процесс.

На рисунке 6.1 изображена структурная схема работы ПЛК.

Утилита Modbus-client используется для коммуникации по протоколам Modbus RTU и Modbus TCP из командной строки. Основная задача этой утилиты — использование в качестве отладочного средства или средства настройки Modbus-устройств [23].

- 2 блока PRG BASE

PRG BASE включает в себя 2 программы: первая отвечает за работу 4 электродвигателей. Вторая – за работу объекта управления.

- 2 блока с программами

Описание работы схемы:

Блок регистров разделен на 2 столбца. В первом столбце блока находятся значение заданного давления, измеренного значения давления, а также загруженность первого электродвигателя с частотным преобразователем. Во втором столбце отображаются состояния второго, третьего и четвертого электродвигателей (“в работе” или “отключено”).

Значения и состояния переменных из блока регистров передаются к другим блокам с помощью Modbus сервера. Modbus сервер работает по частному (локальному) IP-адресу, называемого localhost. Localhost – в компьютерных сетях, стандартное, официально зарезервированное доменное имя для частных IP-адресов (в диапазоне 127.0.0.1 – 127.255.255.254, RFC 2606). Для сети, состоящей только из одного компьютера, как правило, используется всего один адрес — 127.0.0.1, который устанавливается на специальный сетевой интерфейс «внутренней петли» (англ. loopback) в сетевом протоколе TCP/IP. Использование адреса 127.0.0.1 позволяет устанавливать соединение и передавать информацию для программ-серверов, работающих на том же компьютере, что и программа-клиент, независимо от конфигурации аппаратных сетевых средств компьютера (не требуется сетевая карта, модем, и прочее коммуникационное оборудование, интерфейс реализуется при помощи драйвера псевдоустройства в ядре операционной системы). Таким образом, для работы клиент-серверных приложений на одном компьютере не требуется изобретать

дополнительные протоколы и дописывать программные модули. Примером может быть запущенный на компьютере веб-сервер и обращение к нему с этого компьютера для веб-разработки на этом компьютере без необходимости выкладывать веб-программу в сеть интернет, пока её разработка не закончена.

Данные из Modbus-сервера, прежде чем поступить в программы, должны быть обработаны Modbus-клиентом.

Для отладки системы требуется наблюдение переменных состояния. Для этого к Modbus-серверу добавлен http-сервер.

Процедура запуска Modbus-сервера приведена в подразделе 6.3.

6.3 Как запустить Modbus-сервер

Процедура запуска ModBus-сервера следующая:

1. Запустить Virtual-Box. Перейти во вкладку настроек, где следует найти настройки сети. Выбрать тип подключения – виртуальный адаптер хоста с именем “VirtualBox Host-Only Ethernet Adapter”.

VirtualBox Host-Only Network — представляет из себя сетевой виртуальный интерфейс, который создает сеть между хостовой машиной (host) и гостевой (VirtualBox) [18].

Виртуальный сетевой адаптер VirtualBox Host-Only Network по умолчанию работает в сети 192.168.56.0/24, шлюз/IP-адрес адаптера — 192.168.56.1, по DHCP раздает IP-адреса гостям. Соединяет подсеть и host-систему без прямого интернет-доступа (сеть доступна для хоста и гостя).

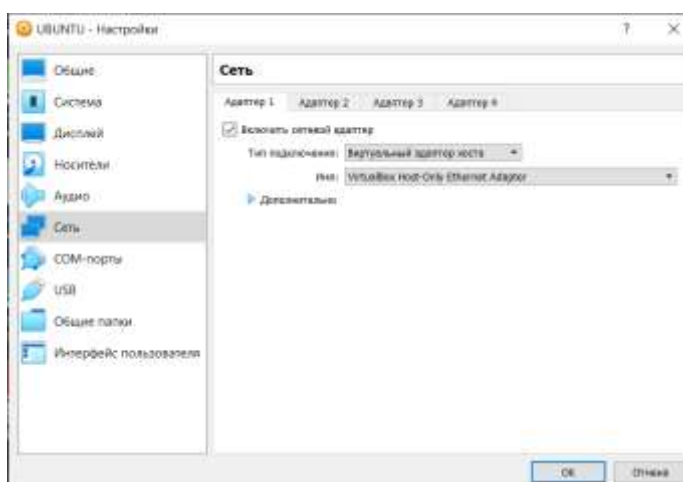


Рисунок 6.2. Изменение типа подключения

2. Далее следует запустить UBUNTU и авторизоваться в системе, указав логин и пароль

```
Ubuntu 22.04.1 LTS artyom tty1
artyom login: [ 19.824160] cloud-init[842]: Cloud-init v. 22.2-0ubuntu1~22.04.3 running 'modules:config' at Thu, 19 Jan 2023 11:33:52 +0000. Up 19.68 seconds.
[ 20.210595] cloud-init[848]: Cloud-init v. 22.2-0ubuntu1~22.04.3 running 'modules:final' at Thu, 19 Jan 2023 11:33:53 +0000. Up 20.16 seconds.
[ 20.294248] cloud-init[848]: Cloud-init v. 22.2-0ubuntu1~22.04.3 finished at Thu, 19 Jan 2023 11:33:53 +0000. Datasource DataSourceNone. Up 20.28 seconds
[ 20.295311] cloud-init[848]: 2023-01-19 11:33:53,315 - cc_final_message.py[WARNING]: Used fallback datasource

artyom login: artyom
Password:
Welcome to Ubuntu 22.04.1 LTS (GNU/Linux 5.15.0-52-generic x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:    https://landscape.canonical.com
 * Support:       https://ubuntu.com/advantage

System information as of Чт 19 янв 2023 11:35:46 UTC

System load:  0.05419921875   Processes:            103
Usage of /:   58.4% of 8.02GB   Users logged in:      0
Memory usage: 21%             IPv4 address for enp0s3: 192.168.56.101
Swap usage:   0%

 * Strictly confined Kubernetes makes edge and IoT secure. Learn how MicroK8s
   just raised the bar for easy, resilient and secure K8s cluster deployment.

   https://ubuntu.com/engage/secure-kubernetes-at-the-edge

37 updates can be applied immediately.
To see these additional updates run: apt list --upgradable

Last login: Wed Jan 18 20:14:33 UTC 2023 on tty1
artyom@artyom:~$
```

Рисунок 6.3. Авторизация в системе Linux

3. Далее необходимо авторизоваться как “суперпользователь” SuperUser (рисунок 6.4). Для авторизации необходимо ввести в терминале Linux ввести команду `sudo apt`. Визуальным отличием работы от лица суперпользователя является символ “\$”.

`Sudo` – это утилита для операционных систем семейства Linux, позволяющая пользователю запускать программы с привилегиями другой учётной записи, как правило, суперпользователя. В части запуска команд от имени `root`’а `sudo` является альтернативой утилите `su`. Правда, в отличие от `su`, которая запускает оболочку `root`’а и предоставляет суперполномочия всем дальнейшим инструкциям, `sudo` предоставляет только временное повышение привилегий. Таким образом, включая полномочия `root`’а только когда это действительно необходимо, применение команды `sudo` снижает вероятность того, что опечатка или ошибка в вызываемой команде причинит какой-нибудь вред системе [19].

Непривилегированная учётная запись должна иметь некоторые полномочия в системе для того, чтобы иметь возможность воспользоваться командой `sudo`. Если быть более точным, такой пользователь должен состоять в определённой группе безопасности.

```
Last login: Thu Jan 19 11:43:37 UTC 2023 on tty1
artyom@artyom:~$ sudo apt
[sudo] password for artyom:
Sorry, try again.
[sudo] password for artyom:
apt 2.4.6 (amd64)
Использование: apt [параметры] команда

apt - менеджер пакетов с интерфейсом командной строки. Он предоставляет
команды для поиска и управления, а также запросов информации о пакетах.
apt выполняет те же задачи, что и специализированные инструменты APT,
например apt-get и apt-cache, но по умолчанию задействует параметры,
которые больше подходят для интерактивного использования.

Основные команды:
list - показать список пакетов на основе указанных имён
search - искать в описаниях пакетов
show - показать дополнительные данные о пакете
install - установить пакеты
reinstall - переустановить пакеты
remove - удалить пакеты
autoremove - автоматически удалить все неиспользуемые пакеты
update - обновить список доступных пакетов
upgrade - обновить систему, устанавливая/обновляя пакеты
full-upgrade - обновить систему, удаляя/устанавливая/обновляя пакеты
edit-sources - редактировать файл с источниками пакетов
satisfy - удовлетворить строки зависимостей

Дополнительные сведения о доступных командах смотрите в apt(8).
Параметры настройки и синтаксис описаны в apt.conf(5).
Информация о том, как настроить источники, можно найти в sources.list(5).
Выбор пакетов и версий описывается в apt_preferences(5).
Информация о безопасности доступна в apt-secure(8).
В APT есть коровья СУПЕРСИМЛА.

artyom@artyom:~$
```

Рисунок 6.4. Авторизация в качестве суперпользователя

Процесс регистрации суперпользователя приведен в разделе 3 приложения В.

7. Описание кода программы для программируемого логического контроллера на языке Python

Для создания кода программы для программируемого логического контроллера необходимо выполнить ряд задач:

1. Загрузить внешние библиотеки.
2. Написать разностные уравнения динамических звеньев (инерционного, интегрирующего и дифференциального). Также в рамках данной задачи формируется уравнение ПИД-регулятора. Все разностные уравнения являются библиотеками, т.е. такой код работает непосредственно с числами.
3. Далее необходимо создать библиотеку объекта управления, представленного цепью из трех последовательно соединенных инерционных звеньев первого порядка, и библиотеку замкнутого контура управления, состоящего из ПИД-регулятора и объекта управления.
4. Следующими задачами являются написание программы объекта управления, библиотека для которой была создана в рамках предыдущей задачи, и непосредственно программы, отвечающей за управление режимами работы двигателей и частотного преобразователя, подключенного с одним из двигателей, в зависимости от нагрузки. Программы отличаются от библиотек тем, что получают данные из регистров (ячеек памяти), находящихся на сервере.

7.1 Загрузка внешних библиотек

Для работы кода требуется загрузить следующие библиотеки:

```
1. import cProfile
```

Python включает встроенный модуль cProfile, который используется для измерения времени выполнения программы. Модуль cProfiler предоставляет всю информацию о том, как долго выполняется программа и сколько раз функция вызывается в программе.^[24]

```
2. import cnf
```

CNF - это сокращение от конъюнктивной нормальной формы, которая представляет собой способ группировки логических операторов.^[25]

```
3. import time
```

Модуль `time` используется для решения задач, связанных со временем.

```
4. from array import array
```

Данный модуль необходим для формирования массивов.

```
5. from pyModbusTCP.client import ModbusClient
```

Библиотека, с помощью которой можно будет создать клиента для подключения к серверу.

7.2 Формирование разностных уравнений динамических звеньев

К динамическим звеньям относятся инерционное, интегрирующее и дифференциальное звенья.

Описание инерционного звена на языке Python:

Принимается, что x – входной сигнал, y – выходной сигнал. Дифференциальное уравнение инерционного звена представлено выражением:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{x-y}{T}, \text{ с помощью основных свойств преобразования Лапласа}$$

получается операторное уравнение:

$$sY = \frac{x-y}{T_{in}} \text{ умножаются обе части на } T_{in}, \text{ группируются элементы выхода}$$

слева, элементы входа справа:

$Y + T_{in}sY = Y(1 + T_{in}s) = X$, делятся правая и левая части на X и на $(1 + T_{in}s)$. В результате получается передаточная функция инерционного звена первого порядка:

$$W_{in}(s) = \frac{Y}{X} = \frac{1}{1 + T_{in}s}.$$

На машинном коде инерционное звено представлено следующим образом:

```
class Inert:
    def __init__(self, Kp, To):
        self.Kp = Kp
        self.To = To
        self.Y1 = 0
    def runStep(self, inp):
        if self.To <= 0:
            return self.Y1
        self.Y1 = self.Y1 + (self.Kp * inp - self.Y1) * cnf.td / self.To
        return self.Y1
```

Сначала создается класс инерционного звена “`class Inert:`”. Далее происходит инициализация параметров звена с помощью конструктора “`def __init__(self, Kp, To):`”, то есть запускается процесс установки начального состояния созданных экземпляров класса:

```
self.Kp = Kp
self.To = To
self.Y1 = 0
```

После определяется функция запуска кода “`def runStep(self, inp):`” зависящая от экземпляров класса и входной величины “`inp`”.

Затем прописывается разностное уравнение инерционного звена первого порядка: `self.Y1 = self.Y1 + (self.Kp * inp - self.Y1) * cnf.td / self.To`, где `self.Y1` — экземпляр класса, являющийся результатом вычисления, однако при следующем цикле оно будет являться предыдущим значением результата; `self.Kp` — коэффициент пропорциональности; `inp` — входная величина; `cnf.td` — время дискретизации и `self.To` — постоянная времени. Библиотеки остальных динамических звеньев (интегрирующего и дифференциального) представлены в приложении Г, раздел 1.

7.3 Формирование ПИД-регулятора и объекта управления

После написания библиотек динамических звеньев следует написать библиотеку ПИД-регулятора.

Процедура описания ПИД-регулятора в Python аналогична описанию библиотеки инерционного звена и представлена в приложении Г, раздел 2.

Следующим шагом необходимо создать библиотеку объекта управления, представленного цепью из трех последовательно соединенных инерционных звеньев первого порядка (рисунок 7.1).

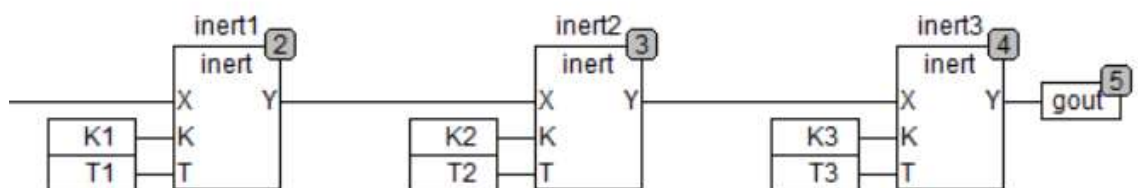


Рисунок 7.1. Три последовательно соединенных инерционных звена

```

class ObjectUpravleniya:
    def __init__(self):
        self.W1 = inert(0.736,3)
        self.W2 = inert(0.736,0.3)
        self.W3 = inert(0.736,0.03)
    def runStep(self, inp):
        out = self.W3.runStep(self.W2.runStep(self.W1.runStep(inp)))
        return out

```

Как видно из кода, сначала создается класс “`class ObjectUpravleniya:`”. Далее по аналогии с созданием динамических звеньев определяется функция инициализации экземпляров класса: “`def __init__(self):`”:

```

self.W1 = inert(0.736,3)
self.W2 = inert(0.736,0.3)
self.W3 = inert(0.736,0.03)

```

Поскольку по условию необходимо три инерционных звена, то, соответственно, создаются три экземпляра, которые определяются как инерционные звенья. В скобках указаны значения параметров K_p , T_o .

Следующим шагом идет описание библиотеки замкнутого контура управления, состоящего из ПИД-регулятора и объекта управления:

Сначала создается класс “`class Kontur:`”. Далее инициализируются экземпляры класса:

```

def __init__(self):
    self.xs = 3
    self.ob = ObjectUpravleniya()
    self.reg = Pid(Kp, Ti, Td, Tf)

```

Где :

`self.xs = 3` — задание входной величины.

`self.ob = ObjectUpravleniya()` — переменная, равная результату работы объекта управления.

`self.reg = Pid(Kp, Ti, Td, Tf)` — переменная, определяющаяся как результат работы ПИД-регулятора.

После определяется функция запуска работы:

```

def runStep(self):
    self.y = self.ob.runStep(self.u)
    self.e = self.xs - self.y
    self.u = self.reg.runStep(self.e)

```

Где:

`self.y = self.ob.runStep(self.u)` – результат вычисления, зависящий от значения управления “u”.

`self.e = self.xs - self.y` – ошибка между заданием “xs” и результатом “y”.

`self.u = self.reg.runStep(self.e)` – величина управления, которая является входом для переменной объекта управления “y”. На вход величины управления подается ошибка между заданием и результатом “e”.

Таким образом, полный код библиотеки замкнутого контура управления, состоящего из ПИД-регулятора и объекта управления, выглядит следующим образом:

```
class Kontur:

    def __init__(self):

        self.xs = 3

        self.ob = ObjectUpravleniya()

        self.reg = Pid(Kp, Ti, Td, Tf)

    def runStep(self):

        self.y = self.ob.runStep(self.u)

        self.e = self.xs - self.y

        self.u = self.reg.runStep(self.e)
```

7.4 Написание кода программы управления электроприводами

После описания всех необходимых библиотек следует описание программы управления режимами работы двигателей и частотного преобразователя, соединенного с одним из двигателей. Перед этим следует написать программу для объекта управления, её код представлен ниже:

```
class objectinerts:

    def __init__(self, idK1, idK2, idK3, idT1, idT2, idT3, idupr):

        self.idK1 = idK1

        self.idK2 = idK2

        self.idK3 = idK3

        self.idT1 = idT1

        self.idT2 = idT2
```

```

self.idT3 = idT3
self.idupr = idupr
self.c = ModbusClient(host="192.168.56.101", port=502,
debug=False, unit_id=0, auto_open=True)
K1 = c.read_register(idK1)
K2 = c.read_register(idK2)
K3 = c.read_register(idK3)
T1 = c.read_register(idT1)
T2 = c.read_register(idT2)
T3 = c.read_register(idT3)
self.upr = c.read_register(idupr)
self.W1 = inert(K1, T1)
self.W2 = inert(K2, T2)
self.W3 = inert(K3, T3)

def runStep(self, idinp, idupr):
    K1 = c.read_register(idK1)
    K2 = c.read_register(idK2)
    K3 = c.read_register(idK3)
    T1 = c.read_register(idT1)
    T2 = c.read_register(idT2)
    T3 = c.read_register(idT3)
    self.upr = c.read_register(idupr)
    self.W1 = inert(K1, T1)
    self.W2 = inert(K2, T2)
    self.W3 = inert(K3, T3)
    inp = self.W3.runStep(self.W2.runStep(self.W1.runStep(self.upr)))
    c.write_register(idinp, inp)

```

Важным отличием программы от библиотеки заключается в том, что данные берутся из регистров (ячеек памяти), которые расположены на сервере. Для этого создается Modbus-клиент “ `self.c = ModbusClient(host="192.168.56.101", port=502, debug=False, unit_id=0, auto_open=True)` “, в котором и будут располагаться ячейки переменных со значениями. Как только значения из регистров будут получены, программа вычисляет значение “`inp`”, результат которой равен работе трех инерционных звеньев, где на вход первого инерционного звена подается значение из регистра переменной управления, которая была получена из ПИД-регулятора. Полученное значение “`inp`” записывается в свой регистр, откуда будет браться в другой программе.

Теперь можно перейти к написанию программы управления двигателями и частотным преобразователем.

Создается класс “`class Regulator:`”, инициализируются экземпляры класса:

Как было сказано ранее, основное отличие экземпляров программы от экземпляров библиотек заключается в том, что в программе данные берутся из регистров.

```
def __init__(self, idKp, idTi, idTd, idTf, idXset, idGmul, idK1, idK2, idK3, idT1, idT2, idT3, idinp):
```

`self.idKp = idKp` — установление связи между адресом памяти, где хранится коэффициент пропорциональности для инерционной составляющей ПИД-регулятора, и экземпляром этого коэффициента.

`self.idTi = idTi` — установление связи между адресом памяти, где хранится постоянная времени интегрирования для интегрирующей составляющей ПИД-регулятора, и экземпляром этого коэффициента.

`self.idTd = idTd` — установление связи между адресом памяти, где хранится постоянная времени дифференцирования для дифференцирующей составляющей ПИД-регулятора, и экземпляром этого коэффициента.

`self.idTf = idTf` — установление связи между адресом памяти, где хранится постоянная времени фильтрации для дифференцирующей составляющей ПИД-регулятора, и экземпляром этого коэффициента.

`self.idXset = idXset` — установление связи между адресом памяти, где хранится задание, и экземпляром этого коэффициента.

`self.idGmul = idGmul` — установление связи между адресом памяти, где хранится коэффициент нагрузки, и экземпляром этого коэффициента.

`self.idK1 = idK1` — установление связи между адресом памяти, где хранится коэффициент пропорциональности для первого инерционного звена первого порядка, и экземпляром коэффициента пропорциональности этого звена.

`self.idK2 = idK2` — установление связи между адресом памяти, где хранится коэффициент пропорциональности для второго инерционного звена первого порядка, и экземпляром коэффициента пропорциональности этого

звена.

`self.idK3 = idK3` — установление связи между адресом памяти, где хранится коэффициент пропорциональности для третьего инерционного звена первого порядка, и экземпляром коэффициента пропорциональности этого звена.

`self.T1 = idT1` — установление связи между адресом памяти, где хранится постоянная времени первого инерционного звена первого порядка, и экземпляром постоянной времени этого звена.

`self.T2 = idT2` — установление связи между адресом памяти, где хранится постоянная времени второго инерционного звена первого порядка, и экземпляром постоянной времени этого звена.

`self.idT3 = idT3` — установление связи между адресом памяти, где хранится постоянная времени третьего инерционного звена первого порядка, и экземпляром постоянной времени этого звена.

`self.inp = idinp` — установление связи между адресом памяти, где хранится значение результата цепи из трех последовательно соединенных звеньев, и экземпляром этого коэффициента.

`self.c = ModbusClient(host="192.168.56.101", port=502, debug=False, unit_id=0, auto_open=True)` — создание Modbus-клиента, где будут располагаться регистры.

`Kp = c.read_register(idKp)` - коэффициент пропорциональности. Для его определения необходимо использовать данные из адреса памяти, где хранится коэффициент пропорциональности для инерционной составляющей ПИД-регулятора.

`Ti = c.read_register(idTi)` — постоянная времени интегрирования. Для её определения следует использовать данные из адреса памяти, где хранится постоянная времени интегрирования для интегрирующей составляющей ПИД-регулятора.

`Td = c.read_register(idTd)` — постоянная времени дифференцирования. Для её определения необходимо использовать данные из адреса памяти, где

хранится постоянная времени дифференцирования для дифференцирующей составляющей ПИД-регулятора.

`Tf = c.read_register(idTf)` — постоянная времени фильтрации. Для её определения необходимо использовать данные из адреса памяти, где хранится постоянная времени фильтрации для дифференцирующей составляющей ПИД-регулятора

`Xset = c.read_register(idXset)` — задание. Для его определения необходимо использовать данные из адреса памяти, где хранится задание.

`Gmul = c.read_register(idGmul)` — коэффициент нагрузки. Для его определения следует использовать данные из адреса памяти, где хранится коэффициент нагрузки.

`Ymin = c.read_register(idYmin)` — минимальное значение управления. Для определения следует использовать данные из адреса памяти, где хранится минимальное значение управления.

`Ymax = c.read_register(idYmax)` — максимальное значение управления. Для определения следует использовать данные из адреса памяти, где хранится максимальное значение управления.

`self.reg = pid(idKp, idTi, idTd, idTf)` — создание экземпляра, равного результату работы ПИД-регулятора, параметры которого будут получены из ячеек памяти, указанных в скобках.

Далее определяется функция запуска программы, когда экземпляры класса считывают данные с ячеек памяти.

```
def runStep(self, idXset, idY, idE, idU, idupr, idD2, idD3, idD4, idUpch):  
    self.Kp = c.read_register(idKp)  
    self.Ti = c.read_register(idTi)  
    self.Td = c.read_register(idTd)  
    self.Tf = c.read_register(idTf)  
    self.inp = c.read_register(idinp)  
    Ymin = c.read_register(idYmin)  
    Ymax = c.read_register(idYmax)  
    self.Xset = c.read_register(idXset)  
    self.Gmul = c.read_register(idGmul)
```

Вычисляется ошибка управления, равная разности задания “`self.Xset`” и величины, равной результату работы объекта управления, помноженного на коэффициент нагрузки “ `self.inp * self.Gmul` ”:

```
self.e = self.Xset - self.inp * self.Gmul
```

Далее посчитанная ошибка управления отправляется на вход ПИД-регулятора, который вычисляет величину управления:

```
self.upr = self.reg.runStep(self.e)
```

Вычисленные значения управления и ошибки управления записываются в регистр на сервер:

```
c.write_register(idE, self.e)
c.write_register(idupr, self.upr)
```

Теперь идет описание кода управления двигателями и частотным преобразователем:

```
if self.upr > 300:
    self.D4 = 1
    self.D3 = 1
    self.D2 = 1
    self.Upch = self.upr - 300
if self.upr > 200 and self.upr < 300:
    self.D4 = 0
    self.D3 = 1
    self.D2 = 1
    self.Upch = self.upr - 200
if self.upr > 100 and self.upr < 200:
    self.D4 = 0
    self.D3 = 0
    self.D2 = 1
    self.Upch = self.upr - 100
if self.upr < 100:
    self.D4 = 0
    self.D3 = 0
    self.D2 = 0
    self.Upch = self.upr
return self.upr
c.write_register(idD2, self.D2)
c.write_register(idD3, self.D3)
c.write_register(idD4, self.D4)
c.write_register(idUpch, self.Upch)
```

Как видно, получившееся значения управления, которое посчитал ПИД-регулятор, будет сравниваться с несколькими значениями.

В зависимости от величины коэффициента нагрузки, значение управление будет разным: при минимальном коэффициенте нагрузки, значение управления будет меньше 100, означающее, что будет работать

только один двигатель с частотным преобразователем, который нагружен на то количество процентов, чему равно значение управления.

Если коэффициент нагрузки вырос, и значение управления получилось больше 100, но меньше 200, то включается на полную мощность второй двигатель, а первый двигатель, работающий с частотным преобразователем, будет нагружен на разность получившегося значения управления и ста.

Соответственно, если коэффициент нагрузки продолжает расти, и значение управления больше 200, но меньше 300, то начинают работать два двигателя на полную мощность, а третий двигатель, работающий с частотным преобразователем, будет нагружен на разность получившегося значения управления и двухсот.

Если коэффициент нагрузки стремится к максимальному, что означает большое потребление воды, то управление будет выше 300, но не превышать 400. Следовательно, в работу ко второму и третьему двигателям подключается четвертый двигатель, все они будут работать на полную мощность, а двигатель с частотным преобразователем будет нагружен на разность получившегося значения управления и трехсот.

Как код программы будет отработан, получившиеся значения “D4, D3, D2, Upch” будут отправлены в ячейки памяти (для четвертого, третьего и второго двигателей – 1 или 0, где 1 – двигатель работает; 0 – двигатель выключен, а для двигателя с частотным преобразователем вычисленное значение загрузки).

Код программы управления двигателями и частотным преобразователем представлен приложении Г, раздел 3. Полный собранный код из библиотек и программ приведен в разделе 4 приложения Г.

Результат выполнения программы проиллюстрирован на рисунке 7.2.

Registers

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	16.83	0.534	50.49	3	1.875	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	16.85	0.532	50.46	2.99	1.304	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	16.87	0.53	3.04	0.85	0.85	52.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Coils

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 7.2. Результат выполнения

Таким образом, написаны основные библиотеки, необходимые для работы программы (библиотеки динамических звеньев, ПИД-регулятор, объект управления). Написанные библиотеки являются опорной составляющей для написания программы управления режимом работы электропривода. При необходимости можно написать любые программы для систем автоматического управления других технологических процессов, поскольку программы будут опираться на эти же библиотеки.

8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Цель данного раздела заключается в анализе вопросов обеспечения нормативных условий труда (защита от опасных производственных факторов, санитарно-гигиенические условия, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам обеспечения безопасности в ЧС и экологической безопасности.

Научно-исследовательская работа включает в себя исследование и моделирование регулируемого электропривода центробежного насоса и создание программного обеспечения для программируемого логического контроллера (ПЛК). Объектом исследования является ПЛК, осуществляющий управление режимами работы электропривода повышающей насосной станции.

Рабочим местом является производственное помещение площадью 25 м², оснащенная компьютерным оборудованием для проведения расчетов, а также моделирования результатов работы. В данном разделе проведена работа по технике безопасности, по охране окружающей среды, а также были приняты меры пожарной безопасности. Рассмотрены некоторые рекомендации по улучшению условий труда.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс Российской Федерации способствует урегулированию отношений между работником и работодателем в отношении трудовых и экономических прав.

Для решения правовых и организационных вопросов между работником и работодателем существует Трудовой кодекс Российской Федерации, который устанавливает права и обязанности работника и работодателя, регулирует вопросы охраны труда, правила оплаты и нормирования труда и другие вопросы [26].

Исходя из 91 и 108 статей ТК РФ, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Статья 109 ТК РФ предусматривает предоставление специальных перерывов в течение рабочего времени. В соответствии со Ст. 106 ТК РФ время отдыха — это свободное от исполнения трудовых обязанностей время, которое сотрудник может использовать по своему усмотрению.

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя и отражены в Ст. 212 ТК РФ [27].

Общие требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ даны в ТОО Р-45-048-97. Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований ГОСТ 12.2.032-78 и ГОСТ 22269-76. Эргономические требования к планировке рабочего места должны соответствовать ГОСТ 21889-76 [28].

Согласно ГОСТ 21889-76 Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования:

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора, должен быть на расстоянии 600-700 мм от глаз, но не ближе 500 мм с учетом размеров символов.

Конструкция стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования.

Рабочее помещение должно оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Для внутренней отделки интерьера помещений должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка 0,7-0,8; для стен 0,5-0,6; для пола 0,3-0,5. [28]

8.2 Производственная безопасность

В данном пункте производится анализ вредных и опасных факторов, возникающих при эксплуатации насосной установки. Факторы приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы ГОСТ 12.0.003-2015	Нормативные документы
Повышенный уровень вибрации	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [29].
Недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23- 05-95* (с Изменениями N 1, 2) [31].
Неудовлетворительный микроклимат	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [29].
Повышенный уровень шума на рабочем месте	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23- 03-2003 (с Изменениями N 1, 2) [4]; ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [30].

Продолжение таблицы 8.1.

Электропоражение	ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [32]
------------------	--

8.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

8.3.1 Повышенный уровень вибрации

Насосная установка относится к третьей категории вибрации – технологическая вибрация воздействует на человека на рабочем месте. Источниками вибрации являются: электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы и др.

Длительное воздействие на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием “вибрационная болезнь”. Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ). Болеют, как правило, мужчины среднего возраста. Вибрация может действовать локально (например, на руки), так и на весь организм. Но в любом случае она способна к распространению, отражаясь на нервной и опорно-двигательной системе. Гасится вибрация благодаря эластическим свойствам мышц, связок и хрящей. Кроме того, от длительной вибрации страдает сердечно-сосудистая система и особенно – микроциркуляторное русло (мелкие сосуды, в которых идет непосредственная отдача кровью кислорода, и утилизация из тканей углекислого газа). Далее согласно [2] в таблице 8.2 приведены допустимые уровни вибрации для производственных помещений.

Таблица 8.2 Допустимые величины вибрации в производственных помещениях.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-50

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» предельно допустимый эквивалентный корректированный уровень виброускорения на стационарных рабочих местах в направлении действия Z0 (вертикальная ось, перпендикулярная к опорной поверхности) составляет 100 дБ, а в направлении действия X0 (горизонтальная ось от спины к груди) и Y0 (горизонтальная ось от правого плеча к левому) составляет 97 дБ [29].

Для снижения воздействия вибрации на человека, изменяют конструкцию, в частности смещают ее основные собственные частоты, при которых возможно возникновение резонанса, что достигается увеличением жесткости системы или её массы.

8.3.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность помещений насосной станции должна соответствовать виду производимых работ: в помещении с пультом управления – зрительной работе средней точности, а в прочих помещениях – малой точности.

Нормы освещенности на рабочих местах согласно [6] приведены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 Нормы освещенности на рабочих местах

Характеристика зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0,5÷ 1,0	IVв	Средний	Средний	400	4	2,4
Малой точности	1,0÷ 5,0	Vв	Средний	Средний	150	3	1,8

В соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» освещенность при работе с персональным компьютером должна быть 300-500 лк [31]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПК при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1-5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования — 10:1. Коэффициент пульсации не должен превышать 5% [31]. Для исключения бликов отражений в экране светильников общего освещения рабочий стол с ПК следует размещать между рядами светильников. При этом светильники должны быть расположены параллельно горизонтальной линии взгляда работающего. При рядном размещении рабочих столов не допускается расположение экранов дисплеев навстречу друг другу из-за их взаимного отражения, в противном случае между столами следует устанавливать перегородки.

8.3.3 Неудовлетворительный микроклимат

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах санитарно-гигиенических норм, что обеспечивается:

- при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, газов, аэрозоля - применением организованной естественной вентиляции;
- при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройством принудительной вентиляции, обеспечивающей снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

Источники интенсивных выбросов загрязнителей должны оборудоваться местной вытяжной вентиляцией непосредственно от них.

При невозможности достижения, нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников средствами индивидуальной защиты и т.д.

Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ приведены в таблице 8.4 из СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [29].

Таблица 8.4. Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха
Холодный	1б (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1

Продолжение таблицы 8.4.

Теплый	16 (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
--------	--------------	-------	-------	-------	-----

8.3.4 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Он вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Согласно СП 51.13330.2011 при выполнении основных работ на ПЭВМ в помещениях офиса уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА [30]. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
- применение средств, снижающих шум на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты: применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

8.3.5 Электропоражение

Электрический ток относится к опасным факторам. Запрещается работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками, прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии. Перед началом работы необходимо убедиться в отсутствии висящих под столом или свешивающихся со стола проводов электропитания,

в целостности провода электропитания и вилки, в отсутствии видимых повреждений рабочей мебели и аппаратуры. Токи статического электричества, наведенные в процессе работы ПК на корпусах клавиатур, монитора и системного, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Эти разряды хоть и не опасны для человека, но могут привести к нарушению работы компьютера [32].

Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, общее и местное увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой. Также в помещении мерой защиты от поражения электрическим током может являться недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, например, расположения токоведущих частей на недоступной высоте, изоляция всех токоведущих частей и защитные ограждения (кожухи, крышки, сетки и т.д.).

К превентивным мерам по предупреждению и устранению поражения электрическим током в помещении офиса можно отнести запрет на использование шнуров питания, изоляция которых имеет небольшие трещины и другие повреждения. Все электрошнуры не должны быть сильно короткими и слишком длинными. Категорически запрещается прибивать их к полу гвоздями либо накрывать линолеумом и другими напольными покрытиями. Также необходимо следить за розетками, вне зависимости, где они установлены, их нельзя перегружать.

Перед допуском к самостоятельной работе оператору ПЭВМ необходимо пройти вводный инструктаж по охране труда, обучение безопасным приемам и методам труда по программе, проверку знаний, в том числе по электробезопасности.

8.4 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся: свинец, ртуть, никель и цинк, щелочи.

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специальной переработке.

В свою очередь утилизацию компьютера можно провести, как прибегая к использованию услуг профессиональных компаний по рециклингу, так и обратившись в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

При утилизации комплектующих частей персонального компьютера, люминесцентных ламп, макулатуры происходит негативное воздействие на литосферу. Продукты жизнедеятельности персонала неблагоприятно влияют на гидросферу. А воздействие на атмосферу происходит в случае выделения токсических веществ при неправильной утилизации комплектующих ПЭВМ и при горении самого ПК.

На основании ГОСТ Р 55090-2012 использованная бумажная продукция собирается и отсортировывается, доставляется в соответствующие перерабатывающие предприятия [33].

Лампы относятся к особо опасной категории отходов. Лампы необходимо передать специализированной организации, которая занимается их утилизацией. В Постановлении Правительства РФ №2314 указан порядок утилизации люминесцентных ламп [34].

8.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров», ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера».

Основными причинами аварий и чрезвычайных ситуаций являются:

- стихийные бедствия;
- нарушения режимов технологических процессов;
- не компетенция лиц, допущенных к установкам;
- нарушение правил техники безопасности.

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

- Взрывы и пожары;
- Обрушение зданий, конструкций;
- Метеорологические явления;
- Землетрясение.

8.5.1 Анализ ЧС, которые могут произойти при проведении исследований

Одной из вероятных чрезвычайных ситуаций, при разработке электропривода, является пожар на рабочем месте. В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- Недопущение использования неисправного оборудования;
- Ознакомление сотрудников с правилами пожарной безопасности;
- Сотрудники должны знать место нахождения средств

пожаротушения, связи и номера экстренных служб.

При возникновении пожара:

- Сообщить о пожаре ответственному лицу
- Предпринять меры по устранению очага возгорания имеющимися силами, при помощи первичных средств пожаротушения;

– Привести в действие систему экстренного оповещения, если очаг возгорания потушить не удастся;

- Сообщить о возгорании в службу пожарной охраны;
- Принять меры по эвакуации людей;
- Ожидать пожарную охрану, при необходимости сообщить всю

необходимую информацию.

Заключения по главе «Социальная ответственность»

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться исследователь и оператор, был проведен анализ нормативной документации. Был предложен ряд мер для исключения или уменьшения влияния опасных и вредных факторов на человека и окружающую среду. Согласно Федеральному закону "О специальной оценке условий труда" условия труда являются допустимыми.

В разделе ВКР «Социальная ответственность», был произведён анализ рабочего места во время исследовательской работы, а также:

- Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности;
- Обнаружены и проанализированы возможные вредные и опасные факторы на рабочем месте;
- Проведён анализ возможного вредного воздействия исследования на экологию и способы защиты атмосферы, гидросферы и литосферы;
- Рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте. Проанализировано поведение работника при наиболее вероятном ЧС на рабочем месте – пожаре.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов при работе сидя должны выполнять эргономические требования по ГОСТ 12.2.032-78, а также требования взаимодействия человека с машиной по ГОСТ 21889-76 Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. На качество и работоспособность большое влияние оказывает освещенность помещения. При работе с ПЭВМ освещенность должна быть в пределах 300-500 лк [28].

Перед допуском к самостоятельной работе оператору ПЭВМ необходимо пройти вводный инструктаж по охране труда, обучение безопасным приемам и методам труда по программе, проверку знаний, в том

числе по электробезопасности с присвоением 1-й квалификационной группы по электробезопасности [35].

Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 является Ia, энерготраты которой составляют до 139 Вт [36].

Согласно СП 12.13130.2009 офисное помещение, где размещен пользователь, работающий за ПЭВМ, относится к категории В и считается пожароопасным [37]. Такая классификация связана с наличием в офисных помещениях горючих и трудногорючих материалов и веществ, которые при контакте с воздухом горят без образования взрывоопасных смесей.

9. КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА

Введение

Современный мир наполнен самыми различными средствами по улучшению жизни общества. Такое восприятие не представлялось бы возможным без развивающегося технологического прогресса. Большинство процессов, окружающих нас, так или иначе связано с электронными устройствами. К таковым относится программируемый логический контроллер (ПЛК).

Согласно стандарту МЭК 61131 (международной электротехнической комиссии) термин ПЛК определяется как унифицированная цифровая управляющая электронная система, специально разработанная для использования в производственных условиях. ПЛК постоянно контролирует состояние устройств ввода и принимает решение на основе пользовательской программы для управления состоянием выходных устройств [38].

Благодаря упорной работе ученых и инженеров в 1968 г. был презентован первый программируемый логический контроллер (ПЛК). За более чем 50 лет развития технологий ПЛК претерпел существенные изменения, что в свою очередь повысило требования к их проектированию.

До недавнего времени обширная часть ПЛК закупалась из рубежа, но их стоимость с учетом доставки выросла минимум в два раза, что делает их недоступным для части целевого сегмента.

Цель данного проекта заключается в создании ПЛК на отечественных компонентах, не уступающего по функционалу (характеристикам) зарубежным аналогам, с использованием собственного программного обеспечения, выполненного на базе open-source технологий.

Проблема конечного потребителя

Состояние существующего рынка программируемых логических контроллеров показывает, что существует ряд проблем.

Согласно проведенному исследованию выделено три проблемы:

1. Отсутствие товара в продаже в свободном доступе.
2. Увеличение стоимости зарубежных продуктов.
3. Недостаточная и (или) не точная документация.

Первая проблема связана с тем, что ранее большая часть рынка была представлена импортными устройствами. В связи с уходом с рынка зарубежных компаний, ассортимент продукции значительно сократился. Отечественные производители ПЛК так или иначе зависят от импортных комплектующих (электронные компоненты для печатных плат, процессоры, софт (программное обеспечение), корпуса и другие составляющие), поэтому не в состоянии обеспечить наполняемость рынка. В связи с этим, одной из задач данного проекта является максимальное использование комплектующих, произведенных внутри страны, чтобы рынок программируемых логических контроллеров не испытывал дефицит [39].

Вторая проблема является следствием первой. На настоящий момент часть ПЛК закупаются за рубежом и поступают в Россию по каналам параллельного импорта. Следовательно, цена на продукт является практически не регулируемой, что позволяет продавцам самостоятельно определять стоимость товаров. Поэтому необходимо создать продукт с относительно не высокой стоимостью и обеспечивающий выполнение поставленных задач.

Третья проблема, с которой сталкиваются потребители, связана с недостаточной документацией, идущей в комплекте с устройством. Такая проблема приводит к неправильной, некорректной работе, что отрицательно сказывается на технологическом процессе. Важно, чтобы продукт был “user friendly”, чтобы потребителю со средними познаниями в автоматизации и электротехники можно было легко разобраться с тем, как эксплуатировать устройство.

Защита интеллектуальной собственности

Защита результата интеллектуальной собственности на программное обеспечение к программируемому логическому контроллеру будет

осуществляться патентным правом. Патентование на основе региональной системы в Евразийской патентной организации обеспечит софт патентом на изобретение в России и странах СНГ, где будет происходить реализация устройств.

Право пользоваться программным обеспечением будет передаваться потребителю по лицензионному договору.

Объем и емкость рынка

Согласно общероссийскому классификатору видов экономической деятельности (ОКВЭД) производство программируемых логических контроллеров связано с номером классификатора 27.90.9 “Производство электрического оборудования прочего, не включенного в другие группировки”, либо 26.51.6 “Производство прочих приборов, датчиков, аппаратуры и инструментов для измерения, контроля и испытаний”.

На настоящий момент рынок программируемых логических контроллеров представлен в основном продуктами отечественных компаний. ПЛК используются в самых различных отраслях промышленности, среди них можно выделить несколько основных:

- Химическая деятельность, а также нефте- и газодобыча. В настоящее время используются для управления технологическими установками, устройствами дозирования и смешивания продуктов, очистки отходов химического производства.^[40]

- Коммунальное хозяйство. ПЛК используются для задач тепло- и водоснабжения на насосных станциях, а также для учета мощностей распределительных сетей.

- Различные предприятия, фабрики и заводы. ПЛК занимаются сбором, обработкой и распределением данных с различного используемого в технологическом процессе оборудования.

На настоящий момент оценить объём рынка программируемых логических контроллеров трудно, в виду ухода с российского рынка зарубежных компаний. Согласно найденному источнику, объем рынка ПЛК за

2018 г. составил 79996 шт. Суммарный объем продукции был эквивалентен \$38,6 млн [41].

Ссылаясь на второй источник, можно утверждать, что в период с 2017-2021 гг большая часть продаваемых контроллеров на территории России (95%) была импортного производства [42].

В конце февраля 2022 г в рамках введения новых экономических санкций, США и европейские страны заявили об ограничении импорта высокотехнологичных компонентов в Россию. В марте 2022 г Intel, AMD и Nvidia сообщили о прекращении поставок своей продукции. Это коснулось всех процессоров, а также других устройств, необходимых для производства контроллеров. Тайваньская компания TSMC также сообщила о прекращении производства и поставок своей продукции в Россию, сотрудничества с российскими разработчиками.

Осложнения социально-экономического и торгового взаимодействия между странами привели к сокращению производимой отечественной продукции и ограничению ввоза импортной продукции.

Для расчета емкости рынка потребуется определить ряд критериев, таких как:

1. Период - За какой период будет рассчитана емкость рынка (месяц, квартал, полугодие, год), в том числе год

Емкость рынка будет рассчитана за один год.

2. Границы рынка - По какому региону будет рассчитана доля рынка (США, Россия, Западная Европа, Азия, Дальний Восток и т.п.).

Доля рынка будет охватывать только Россию.

3. Критерии для расчета потенциала - Какой показатель будет взят за основу расчета потенциальной емкости рынка – возможный уровень производства или возможный уровень потребления.

Для расчета потенциала будет взят показатель возможный уровень производства.

4. Аудитория - Какая аудитория будет учитываться в расчете емкости рынка (все население 18+, женщины 35-55 со средним уровнем дохода, все люди в возрасте от 55 лет, молодые семьи и т.д.)

В расчете емкости рынка будет учитываться аудитория, состоящая из различных производств и коммунальных служб.

5. Товарные группы – Какие группы товаров будут учитываться при расчете емкости рынка (на примере рынка автомобилей – только автомобили или автомобили + запчасти или автомобили + запчасти + услуги сервиса).

Поскольку проектируется программируемый логический контроллер, то будет учитываться только это устройство.

6. Единица измерения - Что будет являться единицей измерения при расчете емкости рынка (валюта, единица продукции или объем продукции).

Для расчета емкости рынка единицей измерения будет являться объем продукции.

7. Источники - Какая информация необходима для расчета емкости рынка, источники получения данной информации.

В качестве источников будут задействованы открытые сервисы сбора и показа данных.

Формула емкости рынка:

$$E = M \cdot C,$$

Где E – емкость рынка в денежном или натуральном выражении, ед/год

M – количество реализуемого товара в выбранный временный промежуток, ед.

C – стоимость товара.

Расчет РАМ (Potential Available Market)

Это потенциально доступный рынок. Это весь объём рынка с учётом того, как он изменится за интересующее время. С учетом автоматизации производств, прогнозируется увеличение потребителей с 79996 до 100000.^[53]

$РАМ = \text{Кол-во представителей ЦА в будущем} * \text{текущий средний чек}$

$РАМ = 100000 \times 45000 \times 1 = 4500000000 \text{ руб.}$

РАМ показывает глобальный объём рынка и его тенденции. Для медленно растущих рынков РАМ почти не будет отличаться от следующего показателя — ТАМ. Если стартап работает в инновационной отрасли, которая растёт на 100% в год, оценка РАМ на несколько лет вперёд будет полезна.

Расчет ТАМ (Total Addressable Market).

Это общий объем текущего рынка, на котором можно продать продукт.

$ТАМ = \text{Кол-во представителей ЦА сейчас} * \text{текущий ср. чек за год}$

$ТАМ = 79996 \times 45000 \times 1 = 3639818000 \text{ руб.}$

ТАМ показывает предел роста компании. Показатель демонстрирует перспективы продукта, если он сможет занять весь рынок. На практике ТАМ недостижим. Близкие к 100% от ТАМ цифры встречаются на монополизированных рынках.

Расчет SAM (Served/Serviceable Available Market)

Это доступный объем рынка, доля от ТАМ. SAM показывает, сколько денег уже тратится на решения, похожие на то, что делаете вы. SAM – это рынок прямых конкурентов и аналогов

$SAM = \text{Кол-во покупателей продукта} * \text{текущий ср. чек за год}$

$SAM = 5\% \text{ от } 79996 \times 45000 \times 1 = 179991000 \text{ руб.}$

SAM показывает объем рынка, который можно занять, если вытеснить прямых конкурентов. Это максимальный объем ниши, в которой работает

компания. SAM не учитывает тех, кто мог бы купить продукт, но не покупает его по самым разным причинам.

Расчет SOM (Serviceable & Obtainable Market)

Это реально достижимый (достигнутый) объем рынка, доля от SAM. Это объем продаж, который компания может получить с помощью доступных ей инструментов.

$$SOM=120*45000=5400000 \text{ руб.}$$

SOM показывает какой объем рынка можно получить с помощью существующей стратегии. SOM исключает клиентов, которые потенциально есть на рынке, но компания не сможет их заинтересовать. Показатель учитывает конкуренцию, инверсию продаж в компании и другие факторы.

Современное состояние и перспективы отрасли

Современное состояние рынка ПЛК представляет собой процесс импортозамещения в связи с уходом зарубежных компаний. Происходит рост инвестиций в отечественные проекты и развертывание процесса производства внутри страны. Спрос на ПЛК существует, поскольку целевой сегмент заинтересован в автоматизации технологических процессов для повышения производительности, что позволяет снизить затраты на электроэнергию, ремонт и повышения безопасности обслуживающего персонала.

Основная тенденция рынка сегодня - это расширение сферы применения контроллеров, например, в фармацевтике и мониторинге сети. В связи с этим прогнозируется рост спроса на продукт [43].

1. Жизненный цикл рынка, его тип и структура

Первый ПЛК появился в 1968 г., он был спроектирован инженером Ричардом Морли [44]. В виду пользы и привлекательности в качестве устройства автоматизации процессов через несколько лет были предложены другие модели от различных компаний, и к 1983 г. период становления рынка был закончен. Далее начался период роста. В течение следующих 30 лет устройство претерпевало различные модернизации и улучшения и к 2014 г. рост рынка закончился. С 2014 г идет процесс зрелости, когда существует

высокая конкуренция и спрос стал меньше производства [45]. Однако ввиду осложнения социально-экономического и торгового взаимодействия между странами рынок ПЛК в России претерпел существенные изменения.

Зарубежные производители покинули рынок, а отечественные производители зависимы от иностранных комплектующих. В связи с этим российский рынок ПЛК обновился, и с 2022 г. снова происходят процессы становления и роста.

2. Тип рынка программируемых логических контроллеров – олигополия. Объясняется это тем, что на рынке доминирует небольшое количество крупных производителей.

3. Структура рынка

Структура рынка ПЛК отражает конфигурацию (разделение на части) в зависимости от формата игроков / типа продукта / бренда / клиентурной направленности и других критериев.

В качестве критерия структуры рынка в анализе будет выступать клиентурная направленность (рисунок 9.1) [46].

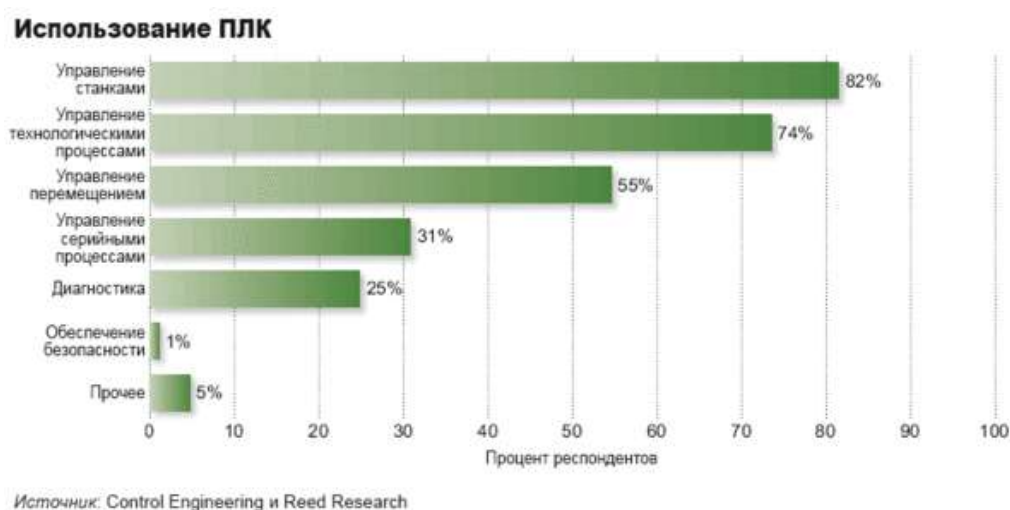


Рисунок 9.1. Структура рынка программируемых логических контроллеров

Согласно проведенному исследованию, программируемые логические контроллеры активно применяются в таких направлениях, как:

– Управление станками. Например, станки числового программного управления, которые используются для обработки материала

(заготовки) токарными станками или фрезами с помощью цифровых алгоритмов. Применимость ПЛК в данном направлении составляет 82%.

- Управление технологическими процессами. Технологических процессов обширное количество. От производства строительных материалов до автомобильной и нефтегазовой промышленности. Здесь применимость ПЛК равна 74%.

- Управление перемещением. Более узкая направленность технологических процессов. Подразумевает под собой конвейерное производство. Использование ПЛК составило 55%.

- Управление серийными процессами. Также является более узкой направленностью технологических процессов. Согласно ГОСТ 14.004-83 Серийное производство – это производство, характеризующееся изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. Применимость ПЛК равняется 31%.

- Диагностика. Диагностика оборудования подразумевает под собой осмотр технического устройства на предмет выявления в нем определенных неполадок. В данном направлении ПЛК используется на 25%.

Остальные направления, в которых применяется ПЛК согласно опросу респондентов, выражены не так ярко.

4. Динамика рынка и сезонность

Экономика не статична и находится в процессе постоянной динамики – периоды роста сменяются периодами рецессий. Подобные колебания получили название экономического цикла. Каждый цикл индивидуален, но определенные закономерности имеют тенденцию повторяться с течением времени.

В связи с отсутствием конкретных значений объема продаж ПЛК на Российском рынке, для косвенной оценки динамики рынка и сезонности было принято решение воспользоваться сервисом для оценки пользовательского интереса к конкретным тематикам.

На нижеприведенном рисунке приведена диаграмма пользовательских запросов в зависимости от месяца (в период с января 2022 года по март 2023 года) [47].

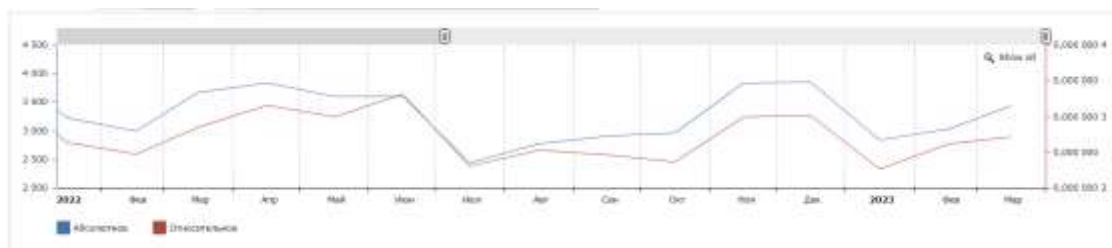


Рисунок 9.2. Динамика рынка ПЛК

Согласно диаграмме, общее число пользовательских запросов варьировалось от 2440 до 3854. Минимальное количество запросов было в летний период, максимальное в осенний и весенний периоды.

Следовательно, можно сделать вывод, что сезонность продаж ПЛК существует: интерес к устройству появляется в осенний и весенний периоды.

За прошлый год было несколько фаз рецессии: с января по февраль, с июня по июль, с декабря по январь. Фазы роста: с февраля по апрель, с июля по ноябрь и с января по март. Фазы стагнации: с апреля по июнь и с ноября по декабрь.

Конкурентные преимущества разрабатываемого продукта

Анализ продукции конкурирующих производителей ПЛК показал, что часть комплектующих, а именно электронные компоненты, изготавливаются за рубежом. В связи напряженными торговыми отношениями между странами связь с поставщиками была нарушена.

Первое конкурентное преимущество разрабатываемого ПЛК заключается в использовании отечественного ядра, производство которого ведется в России (Perka Pi) [48]. Использование отечественного ядра позволит избавиться от проблемы напряженных торговых отношений и, таким образом, пропадет зависимость от иностранных поставщиков.

Второе преимущество заключается в использовании процессоров от российских компаний (например, Байкал-T1 от АО «БАЙКАЛ

ЭЛЕКТРОНИКС”) [49]. Это также будет преимуществом относительно конкурентов, использующих процессоры зарубежного производства.

Третье преимущество – использование Open-Source технологий для беспрепятственной реализации отечественных ядер.

Таким образом, новизна продукта, предлагаемого в рамках данного стартапа, заключается в использовании ядер и процессоров, выпускаемых в России, что дает возможность выпуска отечественного контроллера на Российских площадках.

Весь проект основан на Open-Source решениях, либо на тех, которые были написаны самостоятельно, к которым имеется исходный код. При наличии исходного кода появляется возможность перенести его на любое ядро (к примеру, ARM, Intel, RISC-V), для которого есть компилятор C (Си) или Python. В процессе разработки реализуются основные библиотеки, позволяющие применять наработки из теории автоматического управления (ТАУ), которые будут открыты для пользователя.

Также уникальностью проекта является то, что это будет дешевый вариант производства. ПЛК относительно конкурентов и более доступный. Помимо этого, также есть несколько способов программирования, выходящих за рамки МЭК-протокола (Python и другие, основанные на базе web-интерфейса).

Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта

Целевой сегмент ПЛК представлен на рисунке 9.3:

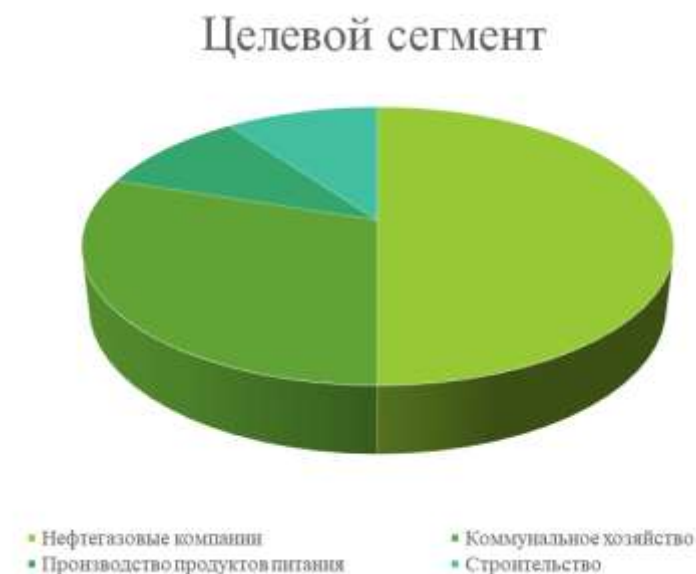


Рисунок 9.3. Целевой сегмент ПЛК

Как видно из круговой диаграммы, целевой сегмент разделен на 4 группы (модель B2B):

- Нефтегазовые компании. ПЛК используются на перекачивающих и распределительных станциях, а также для управления работой и наблюдения за магистральными трубопроводами.
- Коммунальное хозяйство. Данный сегмент заинтересован в ПЛК для задач тепло- и водоснабжения, учета мощностей распределительных сетей.
- Строительство, производство продуктов питания. Контроллеры используются совместно в системе электроприводов для управления технологическими процессами.

Планируемая стоимость продукта

Для расчета планируемой стоимости ПЛК следует привести стоимость компонентов (переменные издержки), необходимых для его реализации, и суммировать её с постоянными издержками (зарплаты сотрудников и аренда помещения).

Переменные издержки: главной составляющей продукта является одноплатный микрокомпьютер, выполняющий операции по сбору, анализу и передачи данных технологическому оборудованию. Далее потребуются электронные компоненты, такие как транзисторы, резисторы, различные разъемы для создания печатной платы, которая будет связана с периферийными устройствами (реле, i2c-устройства). Также для расположения печатной платы потребуется корпус.

В таблицу 9.1 сведены наименования компонентов и их стоимость.

Таблица 9.1. Наименования компонентов и их стоимость

Наименование компонента	Стоимость
Микрокомпьютер Рерка Pi 3	6900 руб.
Электронные компоненты	200 руб.
Корпус	200 руб.

Также следует учесть, что при сборке устройства потребуются крепежные изделия (винты, гайки), их стоимость на порядки ниже основных комплектующих, поэтому они не будут учитываться в расчете себестоимости ПЛК.

Следовательно, переменные издержки на производство одного контролера равны 7300 рублям.

Постоянные издержки: постоянные издержки вычисляются, как сумма зарплат сотрудников, аренды помещения и затрат на коммунальные услуги. В штате состоят 2 сотрудника: инженер-технолог и мастер-сборщик. Зарплата каждого составляет 35000 рублей в месяц. Аренда помещения составляет 15000 рублей в месяц. Стоимость коммунальных услуг ориентировочно равна 1000 рублей в месяц.

Соответственно, постоянные издержки составляют 86000 рублей за месяц.

Планируется выпуск 20 устройств в месяц. Таким образом получаем, что себестоимость одной единицы продукции составляет:

$$\frac{\text{ПОСТ.ИЗД.}+\text{ПЕРЕМЕН.ИЗД.}}{\text{КОЛ-ВО УСТРОЙСТВ}} = \frac{86000+7300 \cdot 20}{20} = 11600 \text{ рублей.}$$

Бизнес-модель проекта

Бизнес-модель – схематическое описание взаимосвязанных бизнес-процессов компании. Модель показывает: что, кому и как можно продавать [50].

В данной работе приводится разработка бизнес-модели ПЛК по шаблону А.Остервальда и И.Пинье. Данная модель представляет собой инструмент стратегического управления, используемый для описания бизнес-моделей новых или уже работающих предприятий.

Схема бизнес-модели ПЛК по модели Остервальдера представлена в Приложении Д, таблица Д.1.

Производственный план и план продаж

При планировании производства важным является определение точки безубыточности. Согласно К.Р.Макконнеллу и С.Л.Брю точка безубыточности — объём продукции предприятия, при которой общая сумма издержек и общая сумма выручки равны, и предприятие не получает прибыли и не несёт убытков. Точку безубыточности измеряют в натуральном или денежном выражении [51].

Точка безубыточности в единицах продукции — такое минимальное количество продукции, при котором доход от реализации этой продукции полностью покрывает все издержки на её производство:

$$BEP = \frac{TFC}{(p - AVC)},$$

где:

BEP – точка безубыточности

TFC – постоянные издержки

AVC – переменные издержки на единицу продукции

p – цена реализации товара покупателю

К постоянным расходам относится зарплата инженера-технолога, выполняющего работы с программным обеспечением, и зарплата мастера-сборщика устройства (по 35000 рублей в месяц), а также аренда

производственного помещения (15000 рублей в месяц) и оплата коммунальных услуг (в основном, электричества – 1000 рублей в месяц).

К переменным издержкам относятся стоимость комплектующих для производства одного устройства (7300 рублей).

Цена товара складывается из его себестоимости, маржи и ставки НДС = 20%. Итоговая цена одного продукта равняется 19500 рублей. Расчет точки безубыточности:

$$BEP = \frac{TFC}{(p - AVC)} = \frac{2 \cdot 35000 + 15000 + 1000}{19500 - 7300} \approx 7$$

Следовательно, при реализации семи устройств в месяц доходы превысят общие расходы и будет обеспечена прибыльность производства.

Производственный план – это административный процесс внутри производственного бизнеса. В него входят решения о необходимом числе персонала, объеме сырья и прочих ресурсов, приобретающихся для изготовления товара.

При составлении производственного плана следует описать путь, по которому предприятие будет производить и реализовывать продукцию. Необходимо учесть все производственные затраты и вписать процесс производства в календарный план. В число затрат входят уровень расходов на содержание персонала и расходы на производство (сырье, покупка или аренда помещений, оборудования, коммунальные услуги и т.д.).

Для предприятия, выполняющего реализацию ПЛК, потребуется штат из двух работников: инженера-технолога и мастера-сборщика. Каждому сотруднику положена заработная плата 35000 рублей за месяц по графику 5/2 с рабочим временем с 10:00-17:00. Далее для организации производства требуется офисное помещение. Согласно п.5.2 СанПиН 2.2.3670-20 минимальная площадь помещения, приходящаяся на одно рабочее место пользователя компьютером или любого другого сотрудника, независимо от вида деятельности, составляет 4,5 м². Соответственно, требуется офисное

помещение с площадью не менее 9 м². Средняя стоимость аренды с учетом оплаты коммунальных услуг равна 15000 рублей за месяц.

В таблицу 9.2 занесены расходы предприятия с учетом плана работы на 3 месяца.

Таблица 9.2. Расходы предприятия с учетом плана работы на 3 месяца

Расходы	1 месяц	2 месяц	3 месяц	Сумма
Корпусы	200· 20	200· 20	200· 20	12000
Платы	6900· 20	6900· 20	6900· 20	414000
Электронные компоненты	200· 20	200· 20	200· 20	12000
Зарплаты сотрудникам	70000	70000	70000	210000
Аренда помещения	15000	15000	15000	45000
Расходы на рекламу	10000	10000	10000	30000
Итого	241000	241000	241000	723000

В таблицу ниже занесены данные по расчету себестоимости ПЛК и план продаж на три месяца:

Таблица 9.3. Себестоимость ПЛК и план продаж на три месяца

	Стоимость 1 ед. продукции	План по продажам, ед.
ПЛК	17000	20
Программное обеспечение	1500	20

Продолжение таблицы 9.3.

Услуги по обслуживанию	1000	20
Итого	19500	60

В таблице 9.4 представлены планируемые показатели выручки и прибыли

Таблица 9.4. Планируемые показатели выручки и прибыли

Показатели	1 месяц	2 месяц	3 месяц	Итого
Выручка от реализации, тыс.руб.	390000	390000	390000	1170000
Налог на добавочную стоимость	78000	78000	78000	234000
Выручка чистая, тыс.руб.	312000	312000	312000	936000

Таким образом, прибыль от реализации ПЛК за 3 месяца вычисляется как чистая выручка - суммарные расходы. Соответственно, планируемая прибыль равна $936000 - 723000 = 213000$ рублей.

Стратегия продвижения продукта на рынок

Жизненный цикл продукта соответствует методу водопада, или каскадному методу. Данная модель разработки заключается в последовательности жестко заданных стадий жизненного цикла разработки — с последовательным прохождением стадий анализа требований, проектирования, реализации, тестирования, интеграции и поддержки. Данная модель используется из-за технологической сложности разработки и производства продукта.

Исследуя каналы маркетинга продукта, можно выделить следующие эффективные пути продвижения на рынке:

1) Научно-технологические форумы и выставки. На таких мероприятиях одновременно присутствуют множество компаний – потенциальных потребителей продукта. Посредством установления личных коммуникаций и наглядной демонстрации работы устройства, реализуется наиболее эффективная реклама продукта. Примеры подобных мероприятий: Российский форум “Микроэлектроника”, международная научно-практическая конференция “Электронные средства и системы управления”.

2) Публикация статей в Интернет-журналах и на образовательно-технологических онлайн ресурсах. Данный канал маркетинга является наиболее оптимальным для продвижения ПЛК, так как такой способ собирает большое количество потенциальных потребителей. Публикация статьи образовательно-технического характера в контексте предлагаемого продукта позволяет проводить практически бесплатную рекламную кампанию. Примеры подобных Интернет-ресурсов: “Хабр”, “Компэл”, “industry-hunter.com”, “element14”, “Компоненты и технологии”.

Заключения по главе «Концепция стартап-проекта»

В ходе выполнения раздела «Концепция стартап-проекта» на рынке программируемых логических контроллеров были определены три проблемы потребителей: отсутствие товара в продаже в свободном доступе; увеличение стоимости зарубежных продуктов; недостаточная и (или) не точная документация. Защита результата интеллектуальной собственности на программное обеспечение к программируемому логическому контроллеру будет осуществляться патентным правом. Анализ рынка и проведенные расчеты показали, что реально достижимый объём рынка составляет 5400000 руб. Анализ современного состояния и перспектив отрасли показали, что основная тенденция рынка сегодня - это расширение сферы применения контроллеров, например, в фармацевтике и мониторинге сети. В связи с этим прогнозируется рост спроса на продукт. Конкурентными преимуществами разрабатываемого продукта являются использование отечественных комплектующих (ядро, процессор), написание программного обеспечения на open-source проектах (Debian, Python), а также сравнительно невысокая стоимость производства. Целевой сегмент представляют собой нефтегазовые компании, коммунальное хозяйство, строительство и производство продуктов питания. Себестоимость при производстве 20 устройств в месяц составляет 11600 рублей. Точка безубыточности достигается при реализации 7 устройств в месяц. Планируемая прибыль за 3 месяца реализации устройств составляет 213000 рублей.

Заключение

В процессе выполнения работы был изучен технологический процесс городского водоснабжения и повышающей насосной станции, в частности. Согласно техническому заданию по заданным напору и производительности был выбран насос и асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР160М2 мощностью 18,5 кВт. По номинальному току и мощности был выбран частотный преобразователь VF-51-P81K-0038-T4-E20-B-H.

Для анализа работы асинхронного двигателя со скалярным частотным управлением $\frac{U}{f^2} = const$ рассчитаны параметры Т-образной схемы замещения, построены естественные механические и электромеханические характеристики, рассчитана насосная нагрузка и частотные характеристики согласно заданному диапазону работы.

В программном комплексе построена имитационная схема работы асинхронного двигателя в двухфазной системе координат с переходными процессами угловой частоты вращения вала и момента. Смоделирован пуск от сети в холостом режиме и с помощью частотного преобразователя с насосной нагрузкой. Анализ получившихся графиков переходных процессов показал, что на всем заданном диапазоне частот электропривод приходит в установившиеся значения по скорости и по моменту.

С целью избавления от высоких значений пусковых токов имитационная схема дополнилась задатчиком интенсивности. Анализ показал, что схема с задатчиком интенсивности позволяет избавиться от высоких значений пусковых токов и момента. Использование задатчика интенсивности снижает нагрузку на механическую и электрическую части привода, позволяет осуществлять плавный пуск и увеличивать срок эксплуатации и межсервисное обслуживание.

Проведено ознакомление с операционной системой Linux и её дистрибутивом Debian. Приведен порядок переноса файлов между компьютеров с различными операционными системами через сервер. Описан

принцип работы программируемого логического контроллера на языке Python. Показан процесс подключения к ModBus-серверу. Подробно описан процесс написания кода программы управления режимами работы электроприводов насосной станции. В код программы включены основные библиотеки динамических звеньев и ПИД-регулятора. Данные библиотеки позволяют использовать контроллер в любом другом технологическом процессе, меняя при этом лишь часть кода, выполняющего управление работой электродвигателей.

Приведена концепция стартап проекта по выпуску отечественного контроллера с собственным софтом, выполненного на отечественных комплектующих, на базе open-source проектов Python и Debian.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система водоснабжения города. – URL: <https://проводу.рф/2019/10/23/sistemavodosngoroda/>. (дата обращения 11.05.2023) . – Режим доступа: свободный. – Текст:электронный.
2. mks-group.ru: электронный каталог продукции: сайт. - Москва, 2023. - URL: <https://mks-group.ru/pump-prod> (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
3. admiral-omsk.ru: электронный каталог продукции: сайт. – Москва, 2023. – URL: <https://admiral-omsk.ru/povyshayushchaya-nasosnaya-stanciya> (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Никишенко С.Л. Нефтегазопромысловое оборудование: Учебное пособие. – Волгоград: издательство “Ин-Фолио”. – 2008. – 416 с: ил.
5. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий / А.М. Гримитлин, О.П. Иванов, В.А. Пухкал. Учебное пособие. – СПб: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2006 г.
6. acsystem.ru: электронный каталог продукции: сайт. – Москва, 2023. – URL: <https://www.acsystem.ru/userfiles/images/Proizvoditeli/Danfoss/MBS/Pasport%20MBS1700.pdf> (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. Последовательный интерфейс RS-232. – URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/>(дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
8. Интерфейс rs-232: назначение, основные технические характеристики, принципы передачи данных. – URL: <https://studfile.net/preview/3104801/page:18/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
9. Яшкардин В. RS-485 рекомендованный стандарт электрических характеристик генераторов и приемников для использования в балансных

многоточечных системах: учебное пособие. – Дубна: Издательство “SoftElectro”, 2009 г.

10. Описание стандарта rs485. – URL: <https://studfile.net/preview/880815/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

11. Харисова Н.Н. Комплексная система диспетчеризации объектов водоснабжения. – Текст: электронный// ИСУП. – 2018. - №3.

12. Датчики – источники первичной информации. Классификация датчиков. Виды и типы датчиков. – URL: <https://shamrin.ru/datchiki-dlya-polucheniya-informatsii/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

13. holod-magazin.ru: электронный каталог продукции: сайт. – Москва, 2023. – URL: <https://holod-magazin.ru/electrical-engineering/kontaktor-ci-37-037h005632.html> (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

14. FTP-протокол: что это такое и для чего он служит. – URL: <https://selectel.ru/blog/what-is-ftp-protocol/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

15. NAT (Network Address Translation) для новичков. – URL: <https://habr.com/ru/articles/583172/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

16. Midnight Commander. – URL: <https://pingvinus.ru/program/midnight-commander>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

17. Как общаются машины: протокол Modbus. – URL: <https://habr.com/ru/companies/advantech/articles/450234/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

18. VirtualBox Host-Only Network — что это такое. – URL: <http://virtmachine.ru/virtualbox-host-only-network-cto-eto-takoe>

290821.html. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

19. Что такое sudo. – URL: <https://ruvds.com/ru/helpcenter/znakomstvo-s-sudo/#:~:text=Sudo%20-%20это%20утилита%20для,предоставляет%20только%20временное%20повышение%20привилегий>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

20. Linux: как узнать, откуда запущен процесс. – URL: <https://windorez.ru/articles/linux-kak-uznat-otkuda-zapuschen-protsess.html>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

21. Сведения об окне регистров. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/VisualStudio/debugger/debugging-basics-registers-window?view=vs-2022>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

22. Что такое протокол Модбас. – URL: <https://toptitle.ru/chto-takoe-protokol-modbas/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

23. Modbus-client. – URL: <https://wirenboard.com/wiki/index.php/Modbus-client/ru>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

24. Профилирование в Python. – URL: <https://python.engineering/profiling-in-python/>. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

25. Конъюнктивная нормальная форма – Conjunctive normal form. – URL: https://ru.wikibrief.org/wiki/Conjunctive_normal_form. (дата обращения 11.05.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

26. Трудовой кодекс ТК РФ. [Электронный ресурс]: URL: <https://base.garant.ru/12125268/> (дата обращения 02.05.2023).

27. Трудовой кодекс РФ» [Электронный ресурс]: URL: <https://rulaws.ru/tk/?yclid=2840441178656909794> (дата обращения 02.05.2023).

28. ГОСТ 21889-76 «Система “Человек-машина”. Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. Обозначение».

29. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

30. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями №1,2).

31. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 (с Изменениями №1,2).

32. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

33. ГОСТ Р 55090-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги.

34. Постановление правительства РФ от 28.12.2020 г. Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда здоровью, растениям, окружающей среде.

35. ИПОТ 360-2008. Инструкция по промышленной безопасности и охране труда для операторов и пользователей ПЭВМ и работников, эксплуатирующих ПЭВМ и видеодисплейные терминалы (ВДТ) (актуализированная редакция).

36. СанПиН 1.2.36585-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

37. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением №1)

38. Введение в ПЛК: что такое программируемый логический контроллер. – URL: <https://www.compel.ru/lib/95591>(дата обращения 20.04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

39. Анализ рынка процессоров и контроллеров в России в 2017-2021 гг, прогноз на 2022-2026 гг. Потенциал импортозамещения и новые рынки сбыта. – URL: https://businessstat.ru/images/demo/proccesors_and_controllers_russia_demo_businessstat.pdf (дата обращения 20.04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

40. Использование ПЛК в промышленности. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-plk-v-promyshlennosti/viewer> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

41. Анализ рынка PLC. – URL: <https://p-reliz.ru/reliz/2019-03-01-analiz-ryinka-plc-programmiruemyie-logicheskie-kontrolleryi-v-rossii--2741.html> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

42. Продажи процессоров и контроллеров в России за 2017-2021 гг. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13483/> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

43. Рынок программируемых логических контроллеров (ПЛК) – рост, тенденции, влияние covid-19 и прогнозы (2023-2028 гг.). – URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/programmable-logic-controller-plc-market> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

44. Э. Парр. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 516 с. ISBN 978-5-94774-340-1

45. Анализ рынка микроконтроллеров. Прошлое и настоящее. – URL: <https://commarket.ru.com/mikrokontrollery-proshloe-i-nastoyashhee/> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

46. Программируемые логические контроллеры. – URL: <https://controleng.ru/plk/programmiruemye-logicheskie-kontrollery-plk> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

47. ПОДБОР СЛОВ. – URL: <https://wordstat.yandex.ru/#!/history?words=программируемый логический контроллер> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

48. <https://repkapi.su/> электронный каталог продукции: сайт. - Москва, 2023. – URL: <https://repkapi.su/content.php?p=4&c=Repka-Pi-3> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

49. Прототип ПЛК на базе отечественного 28-нм процессора Байкал-T1. – URL: <https://isagraf.ru/plk-s-targetami-fiorda/resheniya/platformy/plk-s-targetami-fiorda/prototip-plk-na-baze-otechestvennogo-28-nm-protseссора-bajkal-t1> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

50. Бизнес-модель Остервальдера: что это такое. – URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-business-model-primer-vidy/> (дата обращения 04.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

51. Макконнелл К. Р., Брю С. Л. Экономикс: принципы, проблемы и политика : [рус.] = Economics: Principles, Problems, and Policies. — М. : Республика, 1992. — Т. 2. — С. 398. — ISBN 5-250-01486-0.

52. Производственный план предприятия: примеры и правила. – URL: <https://www.gd.ru/articles/8789-proizvodstvennyy-plan>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

53. Рынок автоматизации розничной торговли – рост, тенденции, влияние COVID-19 и прогнозы (2023-2028 гг.). – URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/retail-automation-market-industry>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

(Обязательное)

Электрические принципиальные схемы подключения электродвигателей

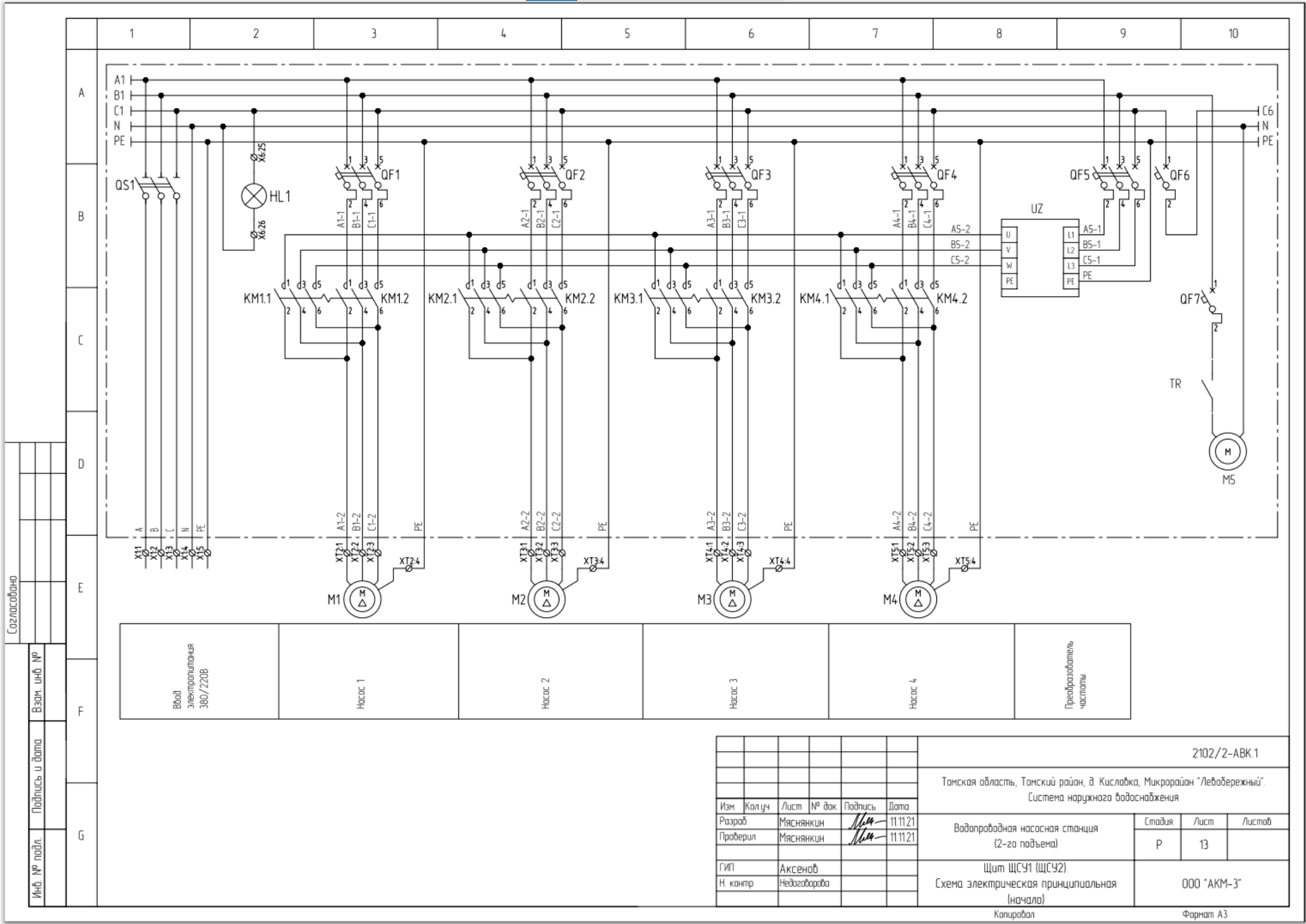


Рисунок А.1. Электрическая принципиальная схема включения электродвигателей

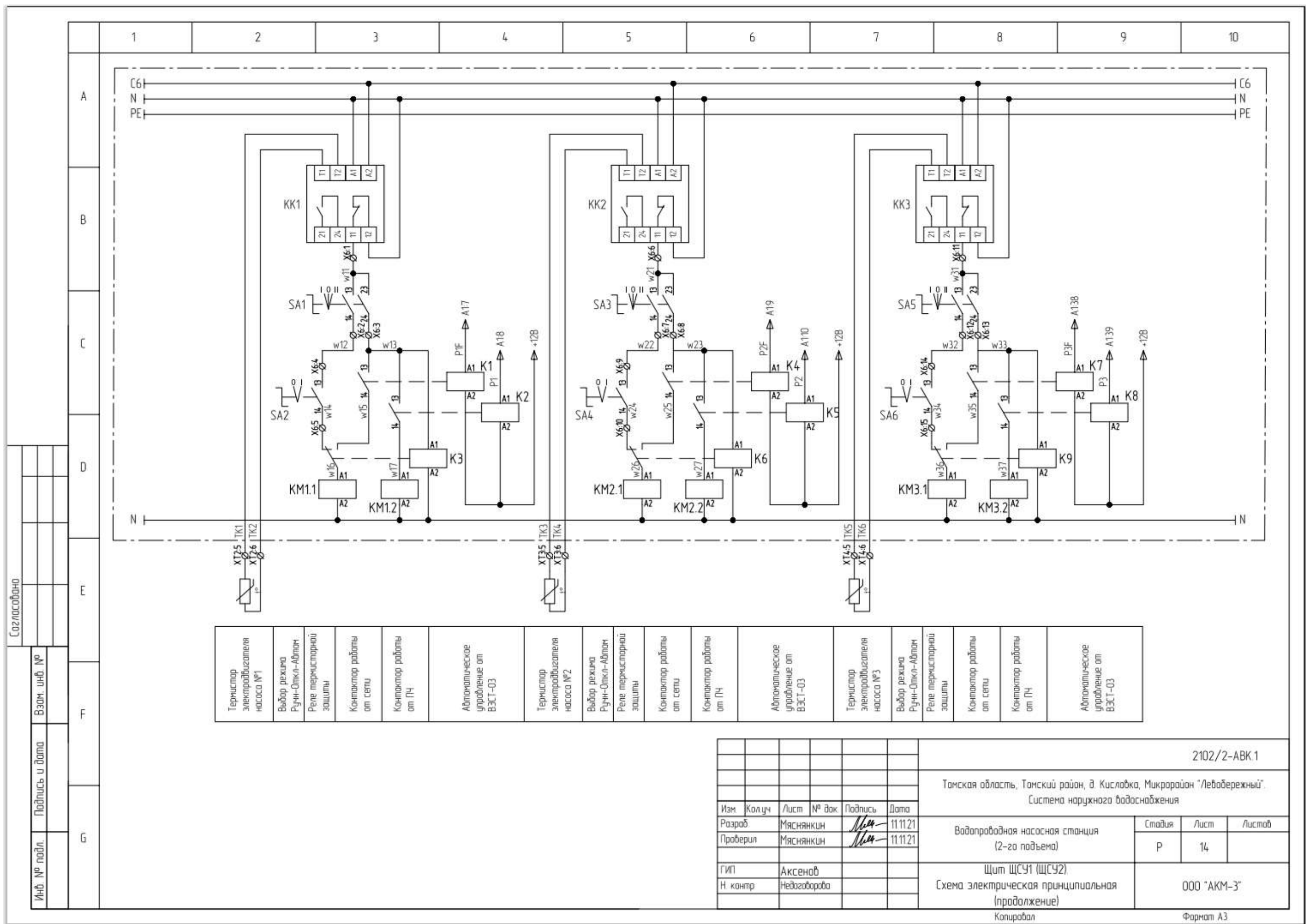


Рисунок А.2. Продолжение электрической схемы

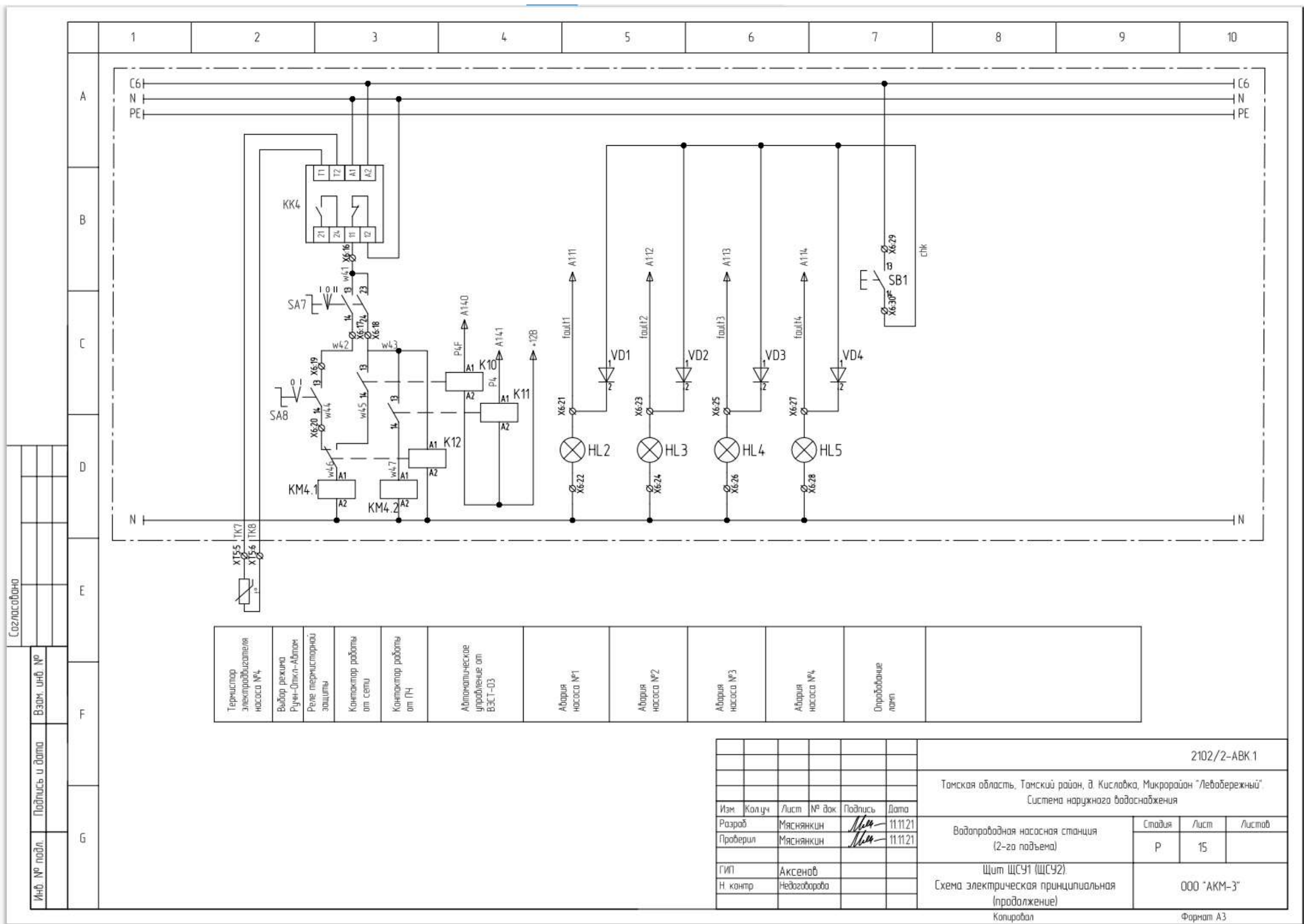


Рисунок А.3.Продолжение электрической схемы

Приложение Б

(Справочное)



Рисунок Б.1. Датчик давления MBS 1700

Таблица Б.1. Технические характеристики преобразователя давления MBS 1700

Метрологические и механические характеристики	
Рабочая среда	Воздух, вода, жидкости (в т.ч. масла)
Тип измеряемого давления	Избыточное
Диапазоны измерения, бар	0 – 6, 0 – 10, 0 – 16, 0 - 25
Диапазон допустимых температур рабочей среды, °C	От -10 до +85
Диапазон допустимых температур при транспортировке и хранении, °C	От -50 до +85
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	$\leq \pm 1\%$ диапазона измерений
Корпус	Нержавеющая сталь AISI 316L
Вес, кг	0,25
Электрические характеристики	
Выходной сигнал	4-20 mA
Защита от неправильного включения полярности	есть
Напряжение питания $U_{\text{пит}}$, В	9-32

Предельный ток	28 mA
Электрическое соединение	Стандартно штекер DIN 43650

Таблица Б.2. Технические характеристики контактора Danfoss серии CI 37

Характеристики	Величина
Тип	CI 37
АС-1 нагрузочный, I_{th} , открытый	80
АС-1, нагрузочный, I_{the} , закрытый	63
АС-3 нагрузочный, I_e	37
АС-3 силовой, U_e , 380-690 В	18,5
Главные контакты	3
Максимальное количество навесных вспомогательных контактов	4

Приложение В
(Обязательное)

Раздел 1. Схема комплекса технических средств диспетчеризации

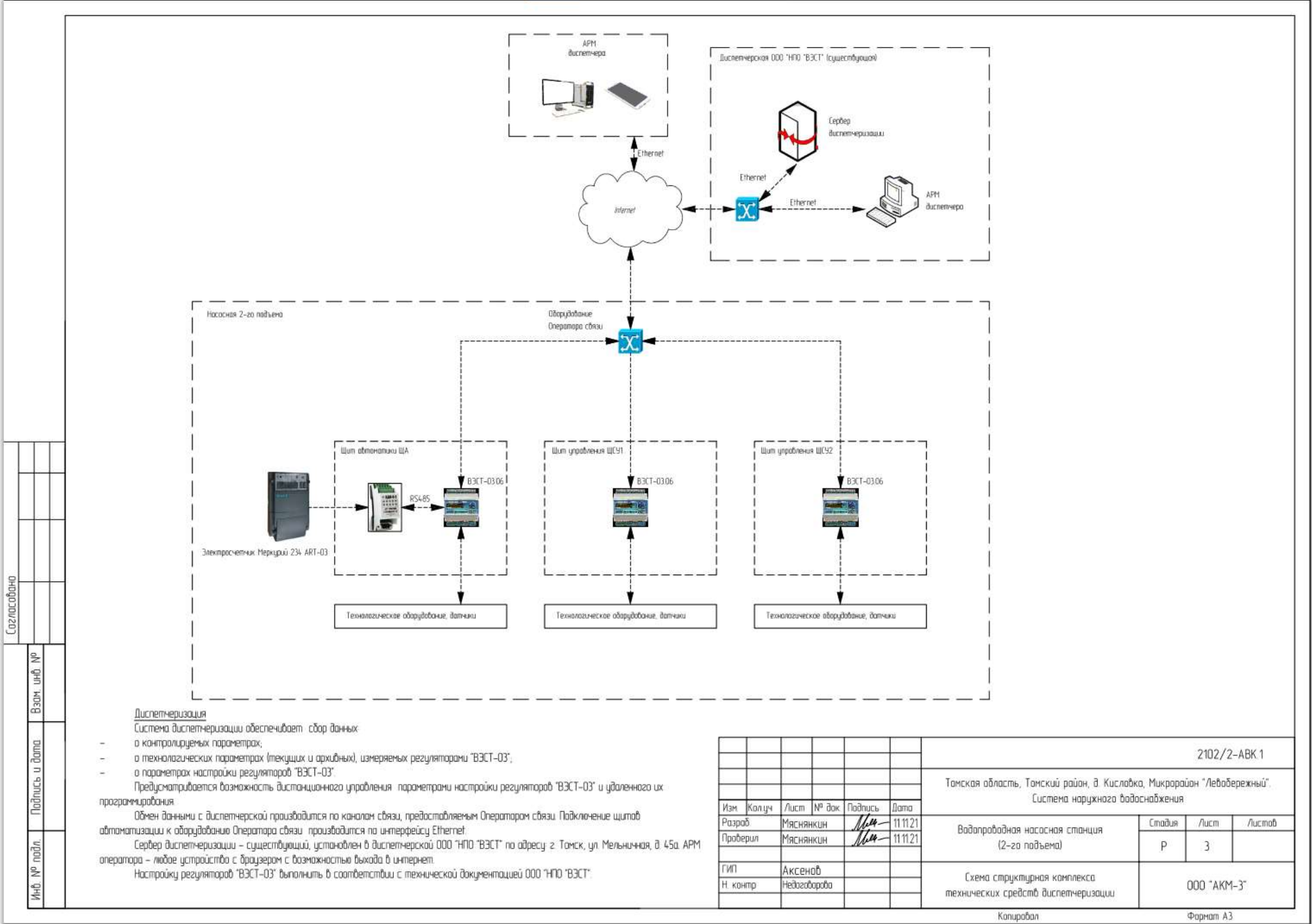


Рисунок В.1. Схема комплекса технических средств диспетчеризации

Раздел 2. Процедура работы через FTP-протокол

Шаг 1. Перейти в проводник на Windows-компьютере. Найти адресную строку, располагающуюся в верхней части экрана. Ввести адрес WEB-страницы URL (рисунок В.2).

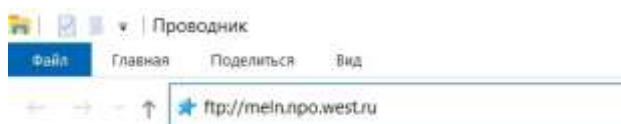


Рисунок В.2. Заполнение адресной строки в проводнике

Шаг 2. WEB-страница содержит в себе папку(-и), располагающуюся(-и) на сервере. Следует перейти в неё.

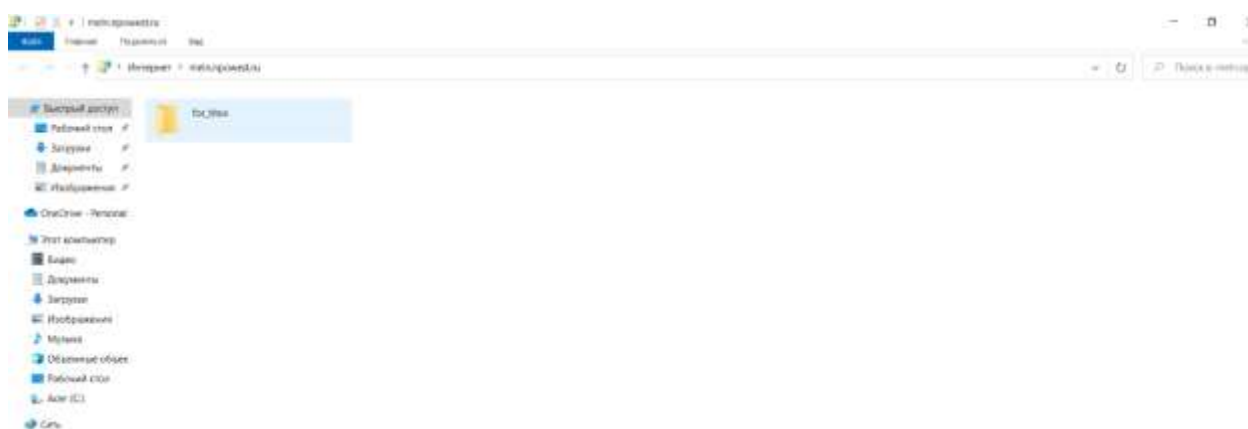


Рисунок В.3. Папка, имеющаяся на сервере

Шаг 3. На компьютере, работающем на ОС Windows, найти нужную папку и заархивировать её, т.е. папка должна иметь формат zip. Скопировать zip-папку и вставить её в папку, находящуюся на сервере.

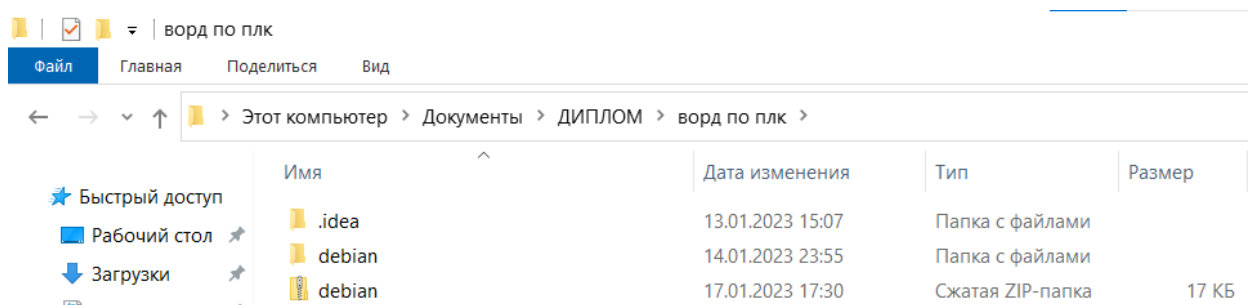


Рисунок В.4.. Нахождение нужной папки, архивирование её.



Рис.3. Перемещение папки с файлами на сервер

Шаг 4. Запустить Virtual Box (рисунок В.5). Выбрать программу UBUNTU и нажать на иконку “Настроить”.

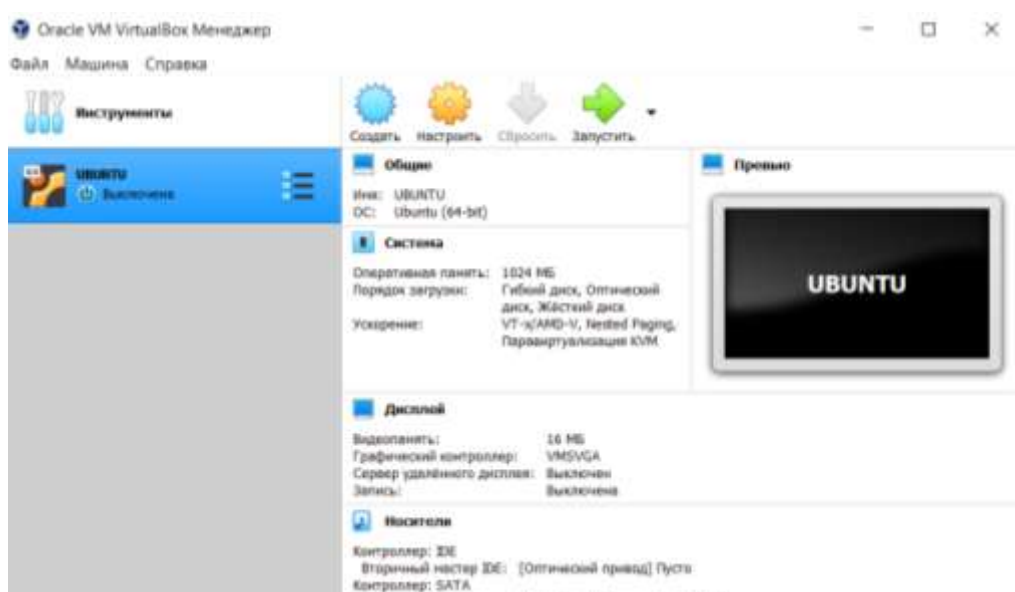


Рисунок В.5. Приветственное окно

После открытия окна настроек следует перейти во вкладку “Сеть”, располагающуюся в столбце слева. Выбрать тип подключения “NAT” (рисунок В.6).

Network Address Translation - это механизм в сетях TCP/IP, позволяющий изменять IP адрес в заголовке пакета, проходящего через устройство маршрутизации трафика [15]. Принимая пакет от локального компьютера, маршрутизатор смотрит на IP-адрес назначения. Если это локальный адрес, то пакет пересылается другому локальному компьютеру. Если нет, то пакет надо переслать наружу в интернет.

Маршрутизатор подменяет обратный IP-адрес пакета на свой внешний (видимый из интернета) IP-адрес и меняет номер порта (чтобы различать ответные пакеты, адресованные разным локальным компьютерам). Комбинацию, нужную для обратной подстановки, маршрутизатор сохраняет у себя во временной таблице. Через некоторое время после того, как клиент и сервер закончат обмениваться пакетами, маршрутизатор сотрет у себя в таблице запись об n-ом порте за сроком давности.

Основная функция NAT - сохранение публичных адресов, однако

дополнительной функцией является конфиденциальность сети, путем скрывания внутренних IPv4 адресов от внешней.

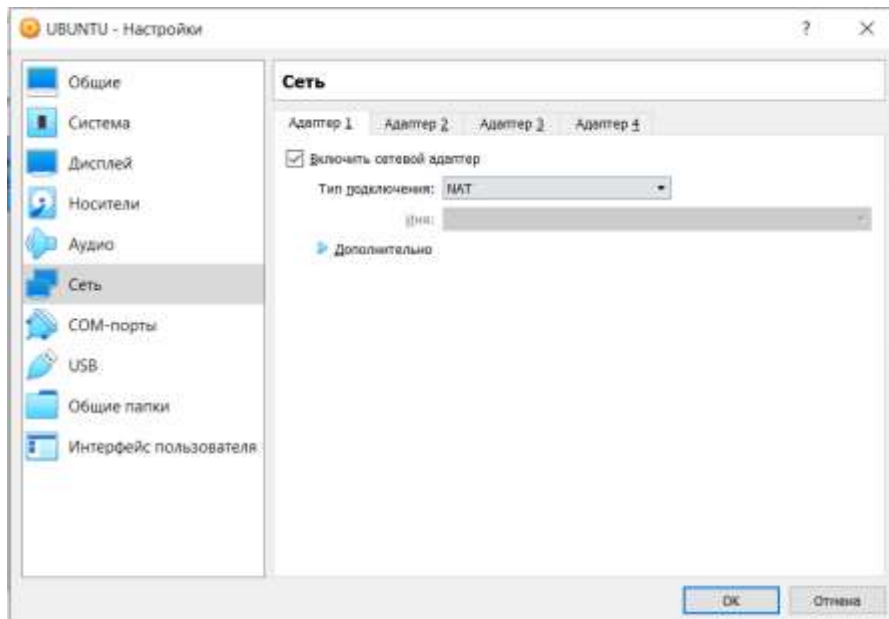


Рисунок В.6. Настройка сетевого подключения

Шаг 5. Пройти авторизацию в системе.

```
Ubuntu 22.04.1 LTS artyom tty1
artyom login: [ 13.848692] cloud-init[848]: Cloud-init v. 22.2-0ubuntu1~22.04.3 running 'modules:config' at Wed, 18 Jan 2023 19:32:53 +0000. Up 13.71 seconds.
[ 14.164527] cloud-init[854]: Cloud-init v. 22.2-0ubuntu1~22.04.3 running 'modules:final' at Wed, 18 Jan 2023 19:32:54 +0000. Up 14.12 seconds.
[ 14.230674] cloud-init[854]: Cloud-init v. 22.2-0ubuntu1~22.04.3 finished at Wed, 18 Jan 2023 19:32:54 +0000. Datasource DataSourceNone. Up 14.22 seconds
[ 14.231681] cloud-init[854]: 2023-01-18 19:32:54,325 - cc_final_message.py[WARNING]: Used fallback datasource
artyom login: artyom
Password: _
```

Рисунок В.7. Авторизация в системе

В терминале ввести функцию “mc”. Midnight Commander (MC) — текстовый двухпанельный файловый менеджер для Linux. MC осуществляет все основные операции с файлами: копирование, перемещение, архивация, изменение прав доступа, создание ссылок, каталогов и другие. MC может работать с файлами на удаленных системах посредством FTP и SSH [16].

Далее необходимо подключиться к нужному серверу. Для этого в терминале необходимо ввести команду: `cd ftp://login:password@servername` (рисунок В.8).

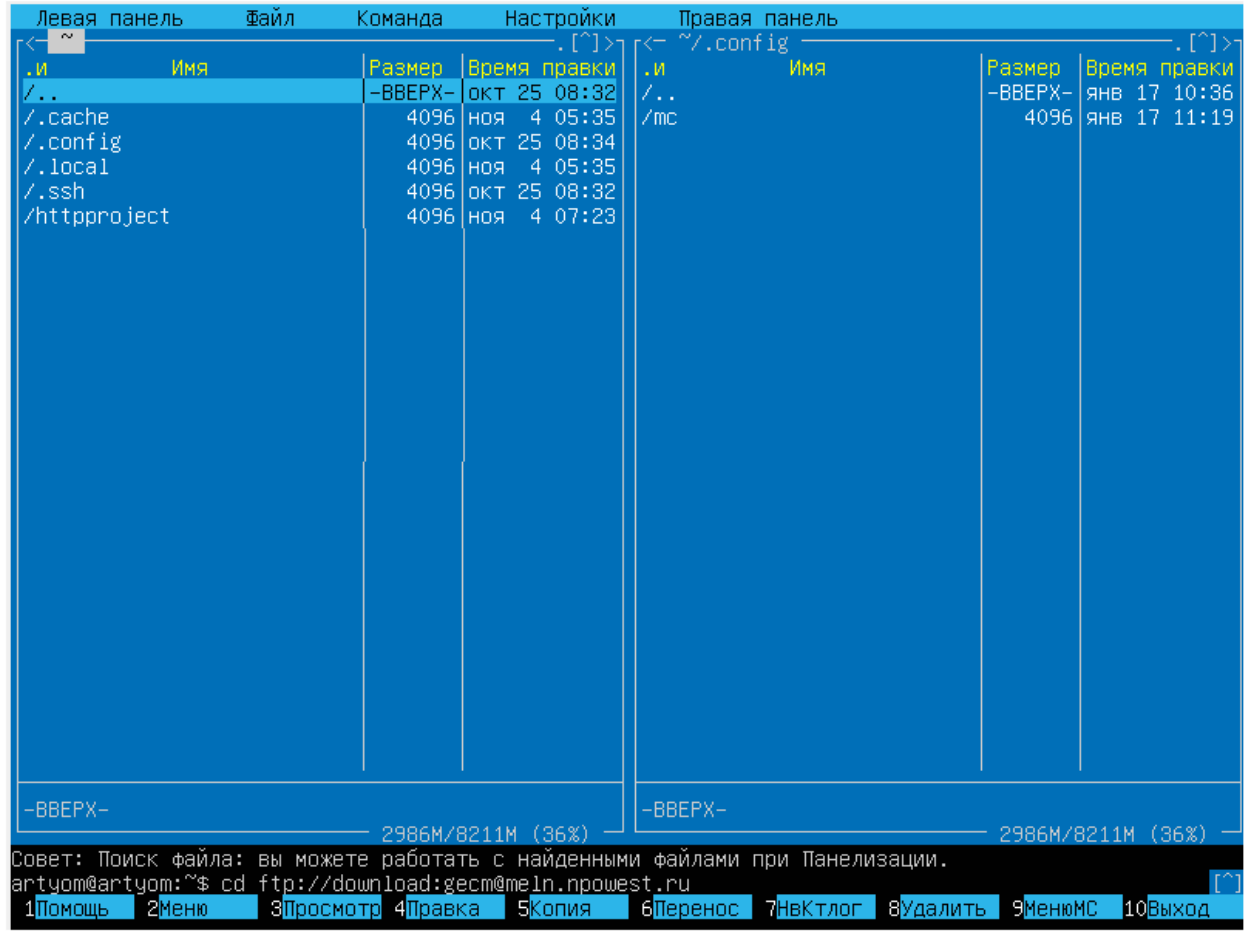


Рисунок В.8. Папка с файлами на компьютере Linux

Команда `cd` используется для навигации между каталогами в Linux. На самом деле, `cd` означает 'change directory' (смена каталога). Он позволяет сменить рабочий каталог с текущего на необходимый, в котором вы хотите продолжить работать.

После ввода команды появится окно с папками, расположенными на сервере (рисунок В.9).

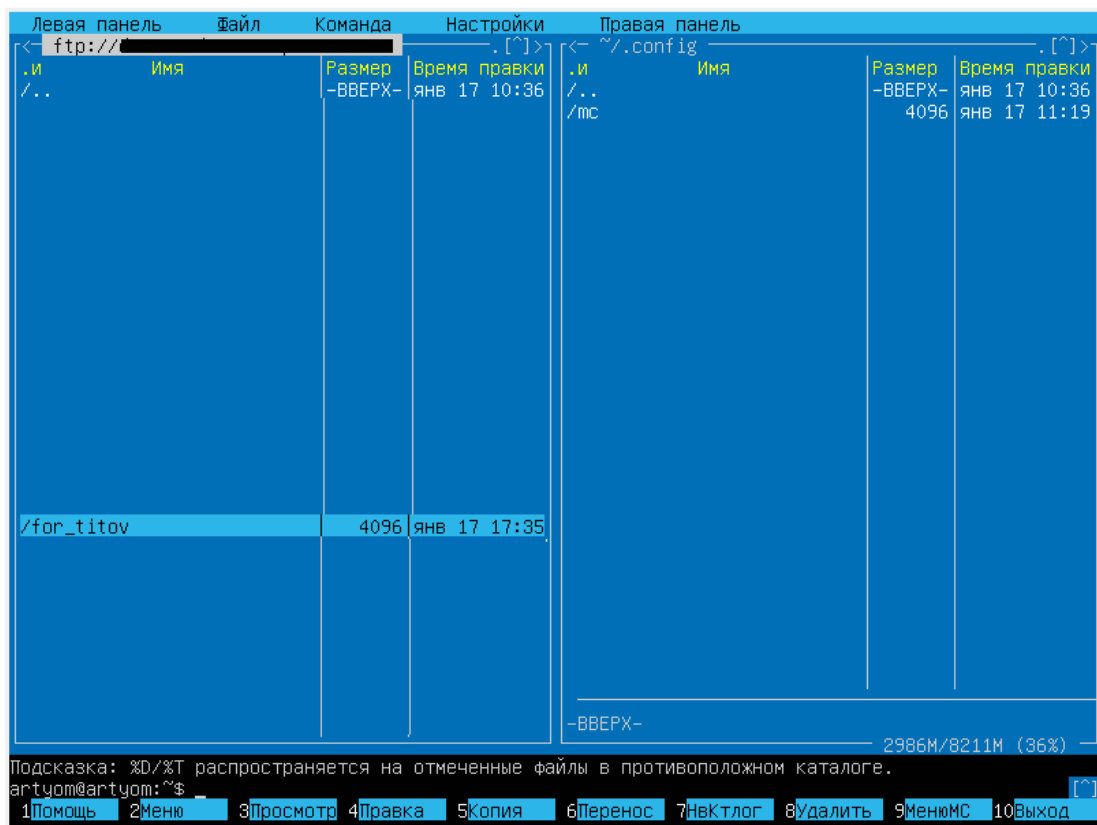


Рисунок В.9. Папки, расположенные на сервере

Затем следует зайти в нужную папку. В ней будет расположена заархивированная папка, которая была перемещена с Windows-компьютера.



Рисунок В.10. Скопированная zip-папка

Нажимая кнопку “Tab”, происходит перемещение в правую часть экрана. В ней необходимо перейти в нужную директорию и с помощью

горячей клавиши “F7” создать новую папку. Далее, нажав горячую клавишу “F5”, создается копия папки с сервера в папку, находящуюся на персональном компьютере Linux.

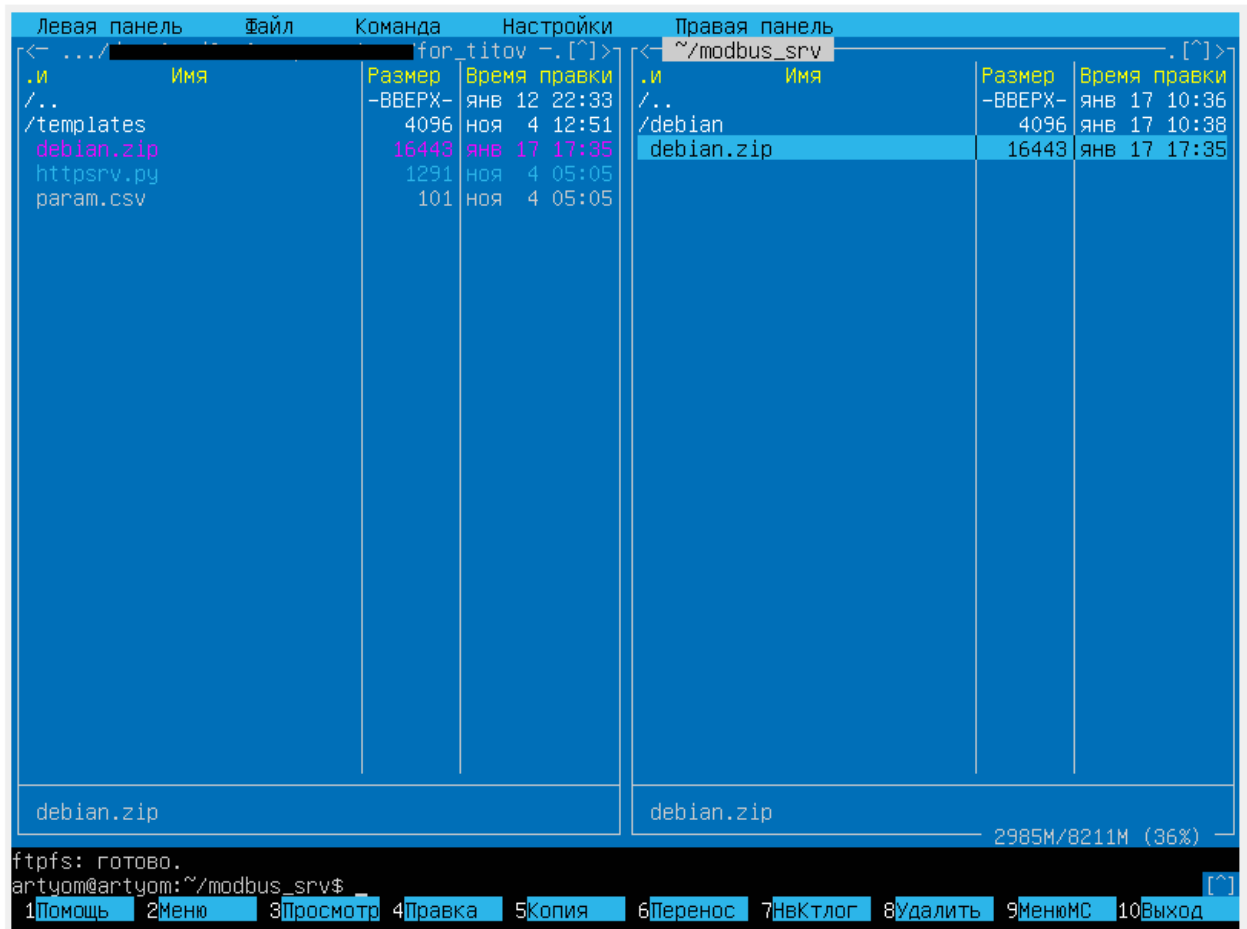


Рисунок В.11. Перенос папки с сервера на персональный компьютер Linux

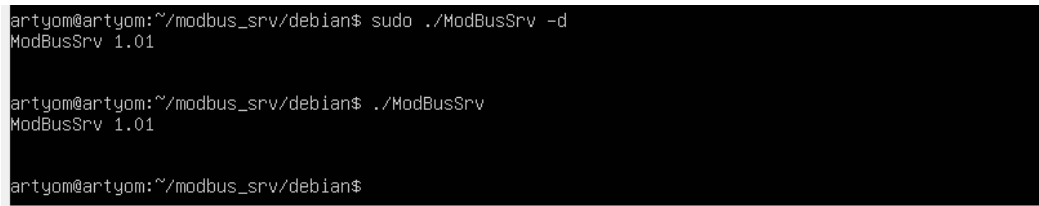
Перенос папки выполнен успешно.

Раздел 3. Регистрация суперпользователя

Чтобы создать пользователя sudo на Ubuntu необходимо сделать несколько действий:

- Сначала добавьте пользователя, для этого запустите: `sudo adduser <UserNameHere>`
- Добавьте пользователя в группу sudo, набрав команду в терминале для Ubuntu версии 12.04 и выше: `sudo adduser <UserNameHere> sudo`
- На старых версиях Ubuntu (версия 12.04 и более ранние), запустите: `sudo adduser <UserNameHere> admin`
- Для проверки выполните: `id <UserNameHere>`

4. После авторизации, как суперпользователь, необходимо открыть папку, в которой располагается нужный файл (рисунок В.12).



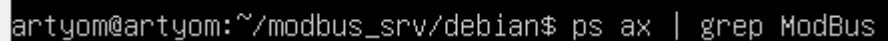
```
artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$ sudo ./ModBusSrv -d
ModBusSrv 1.01

artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$ ./ModBusSrv
ModBusSrv 1.01

artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$
```

Рисунок В.12. Расположение нужного файла

Далее в командной строке следует дописать:



```
artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$ ps ax | grep ModBus
```

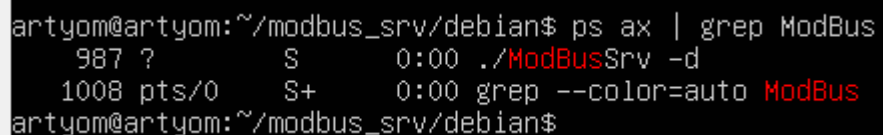
Рисунок В.13. Ввод команды

ps (processes status — статус процессов) — это встроенная утилита Unix/Linux для просмотра информации, касающейся выбора запущенных процессов в системе: она считывает эту информацию из виртуальных файлов в файловой системе /proc. Это одна из важных утилит для системного администрирования, особенно в рамках мониторинга процессов, чтобы помочь вам понять, что происходит в системе Linux [20].

Утилита ps выводит снимок процессов на вашем компьютере Linux. Вы сможете найти процессы по имени, пользователю или даже терминалу с таким количеством деталей, сколько вам нужно.

При вводе команды “ps ax | grep Modbus” используется перенаправление ввода вывода между программами ps и grep, и как результат происходит получение информации обо всех процессах, содержащих в строке запуска “ModBus”.

5. После нажатия “Enter”, отображается снимок процессов (рисунок В.14).

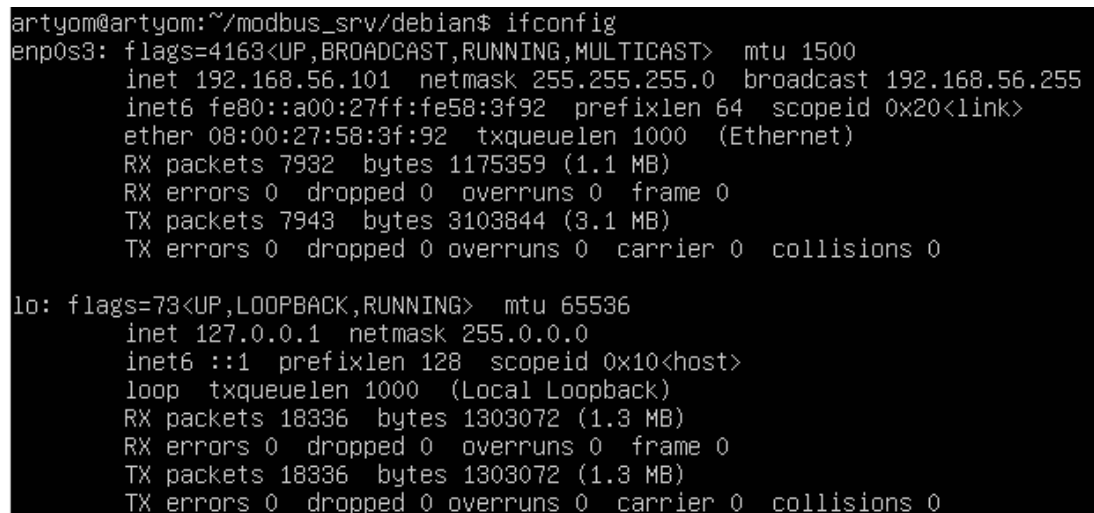


```
artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$ ps ax | grep ModBus
 987 ?        S          0:00 ./ModBusSrv -d
1008 pts/0    S+         0:00 grep --color=auto ModBus
artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$
```

Рисунок В.14. Снимок процессов

О работоспособности свидетельствует красный цвет названия программы.

6. Следующий шаг заключается в нахождении ip-адреса, по которому работает сервер. Для этого в командной строке следует набрать команду “ifconfig” (рисунок В.15). Прежде чем воспользоваться командой, следует установить утилиту. Это осуществляется набором в командной строке текста: \$ sudo apt install net-tools.



```
artyom@artyom:~/modbus_srv/debian$ ifconfig
enp0s3: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.56.101 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.56.255
    inet6 fe80::a00:27ff:fe58:3f92 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 08:00:27:58:3f:92 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 7932 bytes 1175359 (1.1 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 7943 bytes 3103844 (3.1 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 18336 bytes 1303072 (1.3 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 18336 bytes 1303072 (1.3 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Рисунок В.15. Набор команды ifconfig, получение ip-адреса

Команда ifconfig используется для настройки сети в операционных системах семейства Linux. С помощью нее можно включать или выключать сетевые интерфейсы, настраивать их параметры.

Из рисунка В.15 выясняется, что сервер работает по ip-адресу 192.168.56.101. В поисковой строке браузера следует набрать данный адрес.

Ip-адрес работает по 501 порту. TCP-порт 501 использует протокол управления передачей данных (TCP), который является одним из основных протоколов в сетях TCP/IP. TCP является протоколом с установлением соединения и требует квитирования для установки сквозной связи. Только после установления соединения пользовательские данные могут пересылаться в обоих направлениях.

TCP гарантирует доставку пакетов данных через порт 501 в том же порядке, в котором они были отправлены.

Приложение Г

(Обязательное)

Раздел 1. Описание динамических звеньев (интегрирующего и дифференциального) на языке Python

По аналогии с инерционным звеном описываются библиотеки интегрирующего и дифференцирующего звеньев на машинном коде Python:

Для интегрирующего звена:

```
class Integr:
    # если нужно в процессе менять параметры звена
    def setParam(self, Ti, Ymin = -1.0, Ymax = 1.0):
        self.Ti = Ti
        self.Ymin = Ymin
        self.Ymax = Ymax

    # конструктор время Ti указывать обязательно
    def __init__(self, Ti, Ymin = -1.0, Ymax = 1.0):
        self.Ti = Ti
        self.Ymin = Ymin
        self.Ymax = Ymax
        self.Yl = 0

    # выполняет шаг с временем дискретизации в cnf.td
    def runStep(self, inp):
        if self.Ti > 0:
            self.Yl = self.Yl + inp * cnf.td / self.Ti
            if self.Yl > self.Ymax:
                self.Yl = self.Ymax
            if self.Yl < self.Ymin:
                self.Yl = self.Ymin
        return self.Yl
```

Для дифференцирующего звена:

```
class Rdiff:
    def __init__(self, Td, Tf, classic = False):
        self.Td = Td
        self.Tf = Tf
        self.Yl = 0
        self.Xl = 0
        self.classic = classic

    def runStep(self, inp):
        if self.Tf <= 0 or self.Td <= 0:
            return self.Yl
        self.Yl = self.Yl + (inp - self.Xl) * self.Td / self.Tf - self.Yl
        * cnf.td / self.Tf
        self.Xl = inp
        return Yl
```

Раздел 2. Описание ПИД-регулятора на языке Python

Библиотека ПИД-регулятора выглядит следующим образом:

```
class Pid:
    def __init__(self, Kp, Ti, Td, Tf, Ymin=-1.0, Ymax=1.0):
        self.Kp = Kp
        self.bIntgr = Integr(Ti, Ymin, Ymax)
        self.bRdiff = Rdiff(Td, Tf)
```

```

def runStep(self, inp):
    if self.classic:
        out = self.Kp * inp + self.bIntgr.runStep(inp) +
self.Rdiff.runStep(inp)
    else:
        kInp = self.Kp * inp
        out = kInp + self.bIntgr.runStep(kInp) +
self.Rdiff.runStep(kInp)
        if out > self.bIntgr.Ymax:
            out = self.bIntgr.Ymax
        if out < self.bIntgr.Ymin:
            out = self.bIntgr.Ymin
        return out

```

Раздел 3. Код программы управления двигателями и частотным преобразователем

Код программы управления двигателями и частотным преобразователем:

```

class Regulator:
    def __init__(self, idKp, idTi, idTd, idTf, idOut, idK1, idK2, idK3,
idT1, idT2, idT3, idinp, idXset, idGmul):
        self.idKp = idKp
        self.idTi = idTi
        self.idTd = idTd
        self.idTf = idTf
        self.idOut = idOut
        self.idXset = idXset
        self.idGmul = idGmul
        self.idK1 = idK1
        self.idK2 = idK2
        self.idK3 = idK3
        self.idT1 = idT1
        self.idT2 = idT2
        self.ididT3 = idT3
        self.idinp = idinp

        self.c = ModbusClient(host="192.168.56.101", port=502, debug=
False, unit_id=0, auto_open=True)
        Kp = c.read_register(idKp)
        Ti = c.read_register(idTi)
        Td = c.read_register(idTd)
        Tf = c.read_register(idTf)
        Xset = c.read_register(idXset)
        Ymin = c.read_register(idYmin)
        Ymax = c.read_register(idYmax)
        self.reg = pid(idKp, idTi, idTd, idTf)

```

```

def runStep(self, idXset, idY, idE, idU, idupr, idD2, idD3, idD4,
idUpch):
    self.Kp = c.read_register(idKp)
    self.Ti = c.read_register(idTi)
    self.Td = c.read_register(idTd)
    self.Tf = c.read_register(idTf)
    self.inp = c.read_register(idinp)
    Ymin = c.read_register(idYmin)
    Ymax = c.read_register(idYmax)
    self.Xset = c.read_register(idXset)
    self.Gmul = c.read_register(idGmul)

    self.e = self.Xset - self.inp
    self.upr = self.reg.runStep(self.e)
    c.write_register(idY, self.y)
    c.write_register(idE, self.e)
    c.write_register(idU, self.U)

    c.write_register(idupr, self.upr)
    if self.upr > 300:
        self.D4 = 1
        self.D3 = 1
        self.D2 = 1
        self.Upch = self.upr - 300
    if self.upr > 200 and self.upr < 300:
        self.D4 = 0
        self.D3 = 1
        self.D2 = 1
        self.Upch = self.upr - 200
    if self.upr > 100 and self.upr < 200:
        self.D4 = 0
        self.D3 = 0
        self.D2 = 1
        self.Upch = self.upr - 100
    if self.upr < 100:
        self.D4 = 0
        self.D3 = 0
        self.D2 = 0
        self.Upch = self.upr
    return self.upr
c.write_register(idD2, self.D2)
c.write_register(idD3, self.D3)

```

```
c.write_register(idD4, self.D4)
c.write_register(idUpch, self.Upch)
```

Раздел 4. Полный код программы

Полный код выглядит следующим образом:

```
import cProfile
import cnf
import time
from array import array
from pyModbusTCP.client import ModbusClient

class Intgr:
    # если нужно в процессе менять параметры звена
    def setParam(self, Ti, Ymin = -1.0, Ymax = 1.0):
        self.Ti = Ti
        self.Ymin = Ymin
        self.Ymax = Ymax

    # конструктор время Ti указывать обязательно
    def __init__(self, Ti, Ymin = -1.0, Ymax = 1.0):
        self.Ti = Ti
        self.Ymin = Ymin
        self.Ymax = Ymax
        self.Yl = 0

    # выполняет шаг с временем дискретизации в cnf.td
    def runStep(self, inp):
        if self.Ti > 0:
            self.Yl = self.Yl + inp * cnf.td / self.Ti
            if self.Yl > self.Ymax:
                self.Yl = self.Ymax
            if self.Yl < self.Ymin:
                self.Yl = self.Ymin
        return self.Yl

class Inert:
    def __init__(self, Kp, To):
        self.Kp = Kp
        self.To = To
        self.Yl = 0
```

#ОПИСАНИЕ БИБЛИОТЕКИ. ЭТО МОДУЛЬ, РАБОТАЮЩИЙ С ЧИСЛАМИ

```
def runStep(self, inp):
    if self.To <= 0:
        return self.Y1
    self.Y1 = self.Y1 + (self.Kp * inp - self.Y1) * cnf.td / self.To
    return self.Y1

class Rdiff:
    def __init__(self, Td, Tf, classic = False):
        self.Td = Td
        self.Tf = Tf
        self.Y1 = 0
        self.X1 = 0
        self.classic = classic

    def runStep(self, inp):
        if self.Tf <= 0 or self.Td <= 0:
            return self.Y1
        self.Y1 = self.Y1 + (inp - self.X1) * self.Td / self.Tf - self.Y1
        * cnf.td / self.Tf
        self.X1 = inp
        return Y1

class Pid:
    def __init__(self, Kp, Ti, Td, Tf, Ymin=-1.0, Ymax=1.0):
        self.Kp = Kp
        self.bIntgr = Intgr(Ti, Ymin, Ymax)
        self.bRdiff = Rdiff(Td, Tf)

    def runStep(self, inp):
        if self.classic:
            out = self.Kp * inp + self.bIntgr.runStep(inp) +
self.Rdiff.runStep(inp)
        else:
            kInp = self.Kp * inp
            out = kInp + self.bIntgr.runStep(kInp) +
self.Rdiff.runStep(kInp)
            if out > self.bIntgr.Ymax:
                out = self.bIntgr.Ymax
            if out < self.bIntgr.Ymin:
```

```

        out = self.bIntgr.Ymin
    return out

```

```

class objectinerts:
    def __init__(self, idK1, idK2, idK3, idT1, idT2, idT3):
        self.idK1 = idK1
        self.idK2 = idK2
        self.idK3 = idK3
        self.T1 = idT1
        self.T2 = idT2
        self.idT3 = idT3
        self.c = ModbusClient(host="192.168.56.101", port=502,
debug=False, unit_id=0, auto_open=True)
        K1 = c.read_register(idK1)
        K2 = c.read_register(idK2)
        K3 = c.read_register(idK3)
        T1 = c.read_register(idT1)
        T2 = c.read_register(idT2)
        T3 = c.read_register(idT3)
        self.W1 = inert(K1, T1)
        self.W2 = inert(K2, T2)
        self.W3 = inert(K3, T3)

    def runStep(self, idout, idinp):
        K1 = c.read_register(idK1)
        K2 = c.read_register(idK2)
        K3 = c.read_register(idK3)
        T1 = c.read_register(idT1)
        T2 = c.read_register(idT2)
        T3 = c.read_register(idT3)
        self.inp = c.read_register(idinp)
        self.W1 = inert(K1, T1)
        self.W2 = inert(K2, T2)
        self.W3 = inert(K3, T3)
        out = self.W3.runStep(self.W2.runStep(self.W1.runStep(self.inp)))
        c.write_register(idout, out)

class Regulator:
    def __init__(self, idKp, idTi, idTd, idTf, idOut, idK1, idK2, idK3,
idT1, idT2, idT3, idinp, idXset, idGmul):
        self.idKp = idKp

```

```

self.idTi = idTi
self.idTd = idTd
self.idTf = idTf
self.idOut = idOut
self.idXset = idXset
self.idGmul = idGmul

self.c = ModbusClient(host="192.168.56.101", port=502, debug=
False, unit_id=0, auto_open=True)
Kp = c.read_register(idKp)
Ti = c.read_register(idTi)
Td = c.read_register(idTd)
Tf = c.read_register(idTf)
Xset = c.read_register(idXset)
Ymin = c.read_register(idYmin)
Ymax = c.read_register(idYmax)

self.idK1 = idK1
self.idK2 = idK2
self.idK3 = idK3
self.T1 = idT1
self.T2 = idT2
self.idT3 = idT3
self.inp = idinp

self.reg = pid(idKp, idTi, idTd, idTf)

def runStep(self, idXset, idY, idE, idU, idupr, idD2, idD3, idD4,
idUpch):
    self.Kp = c.read_register(idKp)
    self.Ti = c.read_register(idTi)
    self.Td = c.read_register(idTd)
    self.Tf = c.read_register(idTf)
    self.inp = c.read_register(idinp)
    Ymin = c.read_register(idYmin)
    Ymax = c.read_register(idYmax)
    self.Xset = c.read_register(idXset)
    self.Gmul = c.read_register(idGmul)

```

```

self.e = self.Xset - self.inp
self.upr = self.reg.runStep(self.e)
c.write_register(idY, self.y)
c.write_register(idE, self.e)
c.write_register(idU, self.U)

c.write_register(idupr, self.upr)
if self.upr > 300:
    self.D4 = 1
    self.D3 = 1
    self.D2 = 1
    self.Upch = self.upr - 300
if self.upr > 200 and self.upr < 300:
    self.D4 = 0
    self.D3 = 1
    self.D2 = 1
    self.Upch = self.upr - 200
if self.upr > 100 and self.upr < 200:
    self.D4 = 0
    self.D3 = 0
    self.D2 = 1
    self.Upch = self.upr - 100
if self.upr < 100:
    self.D4 = 0
    self.D3 = 0
    self.D2 = 0
    self.Upch = self.upr
return self.upr
c.write_register(idD2, self.D2)
c.write_register(idD3, self.D3)
c.write_register(idD4, self.D4)
c.write_register(idUpch, self.Upch)

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(Обязательное)

Таблица Д.1. Схема бизнес-модели ПЛК по методу Остервальдера

<u>Ключевые партнеры</u>	<u>Ключевые виды деятельности</u>	<u>Ценностное предложение</u>	<u>Взаимодействие с клиентом</u>	<u>Потребительские сегменты</u>
Стратегическое сотрудничество с не конкурирующими компаниями: производитель микрокомпьютеров Рерка Рi, компания по производству процессоров Baikal Electronics. Поставщики комплектующих: РТ Electronics; ООО Аврора Мобайл Технолоджис; ООО Арвис Групп ТД.	Разработка: Программное обеспечение (СОФТ). Производство: создание устройств для промышленных отраслей.	Новизна: предложение по созданию устройства, не уступающего по техническим характеристикам зарубежным аналогам, собранного на отечественных комплектующих; Производительность: эффективность технологических процессов при использовании продукта; Цена: продукт дешевле рыночных аналогов; Доступность: В виду использования отечественных комплектующих продукт станет более доступным, чем у конкурентов; Удобство при использовании: специальное программное обеспечение упрощает пользование продуктом	Персональная поддержка: обслуживание и техподдержка.	Нишевой рынок В2В: рынок коммунального хозяйства, нефтегазовое производство, строительство, производство продуктов питания.
	<u>Ключевые ресурсы</u> Материальные ресурсы: комплектующие и сырье Интеллектуальные ресурсы: программное обеспечение продукта, технология производства Персонал: сборка и обслуживание устройств		<u>Каналы сбыта</u> Прямые: Продажи через Интернет - платформы и социальные сети	
<u>Структура издержек</u> Фиксированные издержки: зарплата, аренда офиса. Переменные издержки: закупка комплектующих и запчастей при производстве и обслуживании			<u>Поток поступления доходов</u> Доход от разовых сделок, регулярный доход от послепродажного обслуживания.	