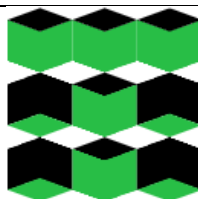


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
«Электропривод и автоматика»
Отделение электроэнергетики и электротехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Разработка системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере

УДК 62-83-5:674.047

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Кеслер Артём Дмитриевич		

Руководитель ВКР

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

Со-руководитель ВКР (по разделу «Концепция стартап-проекта»)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина Ольга Борисовна	к.э.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

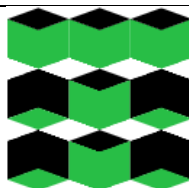
Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Тютеева Полина Васильевна	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП
по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
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 университета	
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»



Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
«Электропривод и автоматика»
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Тютеева П.В. (ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5А97	Кеслер Артём Дмитриевич

Тема работы:

Разработка системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.01.2023 №27-88/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Реверсивный осевой вентилятор для камеры сушки пиломатериалов с напором 1100, КПД 0,56, скоростью вращения 1200 об/мин и производительностью 5,75 м³/с
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	1. Обзор литературных источников 2. Выбор и расчёт элементов электропривода 3. Моделирование асинхронного двигателя с использованием частотного регулирования 4. Алгоритмы контроллера 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Концепция стартап-проекта

Перечень графического материала		Рисунки, таблицы, презентация «Microsoft PowerPoint 2019»
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна	
Концепция стартап–проекта	Юдахина Ольга Борисовна	

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

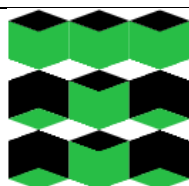
Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Кеслер Артём Дмитриевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Инженерная школа электроэнергетики
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
«Электропривод и автоматика»
Отделение электроэнергетики и электротехники

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5А97	Кеслер Артём Дмитриевич

Тема работы:

Разработка системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2023	Разработка раздела «Литературный обзор»	20
13.03.2023	Разработка раздела «Выбор и расчёт элементов электропривода»	25
03.04.2023	Разработка раздела «Моделирование асинхронного двигателя с использованием частотного регулирования»	15
24.04.2023	Разработка раздела «Алгоритмы контроллера»	10
15.05.2023	Разработка раздела «Концепция стартап-проекта»	10
02.06.2023	Оформление и представление ВКР	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Тютёва Полина Васильевна	к.т.н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Кеслер Артём Дмитриевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
5A97		Кеслер 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 системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере	
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 эксплуатации	<i>Объект исследования <u>программируемый логический контроллер и электропривод</u></i> <i>Область применения <u>промышленная сушка пиломатериалов</u></i> <i>Рабочая зона: <u>производственное помещение</u></i> <i>Размеры помещения <u>7×6×4 м</u></i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны <u>шкафы автоматизации с исполнительным оборудованием</u></i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне <u>сушка пиломатериала</u></i>
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.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ; Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ; Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 №52-ФЗ; ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности; ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
2. Производственная безопасность при эксплуатации – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные производственные факторы: 1. недостаток необходимого искусственного освещения; 2. производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека 3. нервно-психические перегрузки; 4. производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды; Опасные производственные факторы: 1. производственные факторы, связанные с электрическим током; Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: перчатки, боты, основные средства защиты от удара электрическим током. - использование очков со специальными компьютерными линзами;

	- организация рабочего места в соответствии с требованиями; - обеспечение необходимой степени искусственного освещения, - поддержание требуемого уровня температуры и влажности воздуха, - наличие у рабочего места защитного заземления (зануления).
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<i>Воздействие на селитебную зону отсутствуют</i> <i>Воздействие на <u>литосферу</u> твердые коммунальные отходы</i> <i>Воздействие на гидросферу <u>бытовые сточные воды</u></i> <i>Воздействие на атмосферу <u>выбросы при генерации электроэнергии, необходимой для работы камеры сушения</u></i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС <u>пожар, короткое замыкание</u> Наиболее типичная ЧС <u>пожар</u>
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	Кеслер Артём Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
5А97	Кеслер Артём Дмитриевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	Электропривод и автоматика

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР</i>	Программируемый логический контроллер позволяет автоматизировать процесс сушки пиломатериалов. В настоящее время пользуется спросом для потребителей.
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Патентование
<i>Объем и емкость рынка</i>	Емкость рынка сибирского округа составляет 76,8 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>	5 964 руб.
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Более новое программное обеспечение; Тонка настройка процесса; Цена создаваемого продукта
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Деревообрабатывающая промышленность
<i>Бизнес-модель проекта, производственный план и план продаж</i>	Модель по А. Остервальду и И. Пинье
<i>Стратегия продвижения продукта на рынок</i>	Публикация статей в Интернет-журналах и на образовательно-технологических онлайн ресурсах
Перечень графического материала:	
1. ...Рисунки, таблицы	Составные части ПЛК, таблицы расчета бюджета проекта

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	
---	--

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина Ольга Борисовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A97	Кеслер Артём Дмитриевич		

РЕФЕРАТ

В своей выпускной квалификационной работе поставлена цель создания системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере. В качестве объекта управления был выбран вентилятор с номинальным напором 1100 Па и производительностью 5,76 м³/с.

Ключевые слова: сушка пиломатериалов, электропривод, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, переходный процесс, программируемый логический контроллер.

В данной работе использовались такие программы как MathCad и Matlab Simulink. В качестве текстового редактора использовался Microsoft Word. Работа содержит 41 рисунок, 19 таблиц.

Содержание

Реферат	11
Введение.....	15
1.Особенности конструкции и принцип работы сушильной камеры.	16
1.1 Режимы сушки пиломатериалов.....	17
1.2 Особенности управления конвективными сушильными камерами (КСК)...	20
2.Выбор и расчет элементов электропривода	22
2.1. Расчет мощности и предварительный выбор двигателя	22
2.2. Расчетные параметры электродвигателя	23
2.3. Расчет параметров схемы замещения электродвигателя	24
2.4 Выбор преобразователя частоты	25
2.4.1 Расчет инвертора	27
2.4.2 Расчет выпрямителя.....	29
2.4.3 Схема подключения преобразователя частоты.....	31
2.5. Расчет канала измерения тока электропривода	32
2.6 Выбор аппаратуры защиты	34
2.7 Расчет статических и динамических характеристик для регулируемого электропривода.....	34
2.8 Расчет коэффициентов и постоянных времени системы	41
3. Моделирование асинхронного двигателя с использованием частотного регулирования.....	43
3.1 Моделирование асинхронного двигателя в неподвижной системе координат.	43
3.2 Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат при настройке вольт–частотной характеристики	44

4. Алгоритмы контроллера.....	47
4.1 Реализация программного кода для процесса сушки пиломатериалов.....	47
5. Концепция стартап-проекта	56
5.1 Описание продукта как результата НИР	56
5.2 Целевые сегменты	58
5.3 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли	58
5.4 Объем и емкость рынка	60
5.5 Оценка эффективности реализации проекта	61
5.6 Конкурентные преимущества создаваемого продукта	66
5.7 Бизнес-модель проекта	70
5.8 Интеллектуальная собственность.....	71
5.9 Стратегия продвижения продукта на рынок	71
6 Социальная ответственность.....	73
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
6.2 Производственная безопасность.....	75
6.2.1 Анализ потенциальных вредных и опасных производственных факторов	75
6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных производственных факторов	75
6.2.2.1 Недостаток необходимого искусственного освещения	75
6.2.2.2 Производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека.....	77
6.2.2.3 Нервно-психические перегрузки	78
6.2.2.4 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды	79
6.2.2.5 Производственные факторы, связанные с электрическим током	80

6.3 Экологическая безопасность.....	81
6.3.1 Атмосфера.....	81
6.3.2 Литосфера	82
6.3.2 Гидросфера	83
.6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	83
Выводы по разделу.....	85
Заключение	86
Список литературы	88
Приложение А	91

ВВЕДЕНИЕ

Важным этапом подготовки к работе пиломатериала является сушка, результатом которой является испарение влаги из древесины. Сушка производится с целью повышения прочности древесины, а также готовый материал легко склеивается, практически не коробится, не подвержен гниению и не трескается. Готовый материал широко используется в декорировании и строительстве.

Процесс сушки древесины использовался издревле, и самым распространённым способом на тот момент являлся естественный способ сушки. Особенностью данного способа является то, что древесина высыхает сама по себе со временем за счет воздействия окружающей среды. Такая сушка занимает много времени и качество материала на выходе получается не самым лучшим.

Камерная для сушки пиломатериалов является отличным решением для реализации качественной сушки древесины. Данный вариант сушки является очень распространенным и самым эффективным. Пар, получаемый при сжигании твердотопливных материалов, поступающий из парового котла является отличным источником тепла при сушке древесины. Калориферы (металлические трубы) обеспечивают доставку пара в камеру. Движение пара может быть как естественным, так и принудительным.

На рисунке 1 представлена схема сушильной камеры:

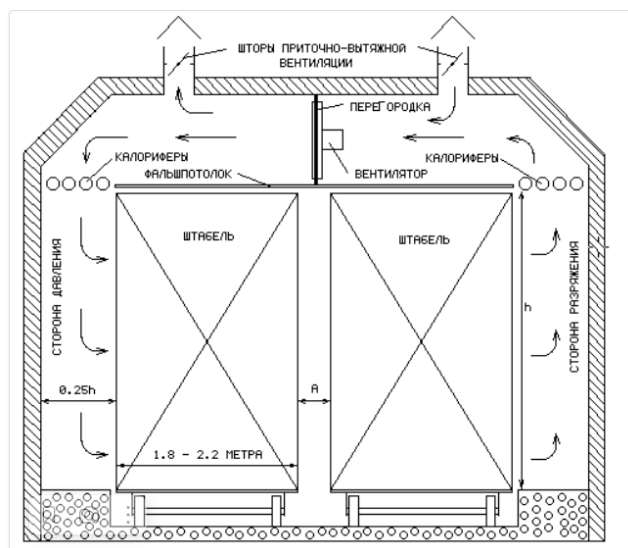


Рисунок 1 – схема сушильной камеры пиломатериалов.

1.ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ.

В технологии сушки пиломатериалов обязательным условием должно быть соблюдение расстояния от стенки сушильной камеры до штабеля древесины [1]. Как правильно оно составляет как минимум четверть от высоты штабеля в ином случае необходимо сузить воздушный канал сверху вниз.

При двух и более штабелях необходимо обеспечить зазор между ними размером не менее чем 15 – 20 см.

Обязательным требованием к конструкции камеры для сушки, является свободное и равномерное прохождение воздуха только через штабель древесины. При нарушении одинакового расстояния между штабелями, воздух будет проходить свободно и с меньшей скоростью при большом расстоянии, и наоборот быстро и в меньшем объеме при недостаточном. В следствии этого процесс сушки замедляется, и сам процесс проходит неравномерно.

Шторы и пороги позволяют воздуху внутри камеры беспрепятственно проходить со всех сторон штабеля. В результате сушки пиломатериалов высота штабеля уменьшается. Отсюда следует то, что шторы следует сделать подвижными. Боковые шторы желательно устанавливать на расстоянии не менее 10-15 сантиметров от самих торцов, что позволит уменьшить растрескивание древесины

Далее рассмотрим циркуляцию воздуха при камерной сушке древесины.

В процессе сушки воздух проходит вдоль штабеля, циркуляция реализуется за счет вентиляторов. Количество вентиляторов варьируется от 1 до 4 штук (в зависимости от размеров штабеля). Чтобы избежать “короткое замыкание” воздушного потока, вентиляторный отсек ограждают от древесины фальшпотолком, который имеет перегородку. Перегородка обеспечивает попаданием воздуха в штабель в полном объеме, если же перегородка отсутствует, часть воздуха не попадает в штабель, а бесполезно гоняется над фальшпотолком.

Электродвигатель вентилятора может находиться как внутри, так и снаружи сушильной камеры. Если двигатель расположен внутри камеры, необходимо соблюдать требования по влагозащите и нагревостойкости (класс “Н” – до 100 градусов). При несоблюдении этих требований двигатель необходимо вынести за пределы сушильной камеры. Если двигатель не вынести за пределы камеры, он может выйти из строя через 3-6 месяцев [1].

Для подачи тепла непосредственно в сушильную камеру используют калориферы. Использование котла, работающего на деревообработке, позволит удешевить процесс и сделать подачу тепла более удобным.

Перед попаданием воздуха к материалу он должен пройти через калориферы, которые в свою очередь расположены в два ряда. Наличие реверсивных вентиляторов обязывает располагать калориферы между воздуховодами вентиляции стороны разряжения и давления. Особенностью данной схемы является – увеличение тепловых потерь, стоимость при сборке при этом уменьшится.

Можно добиться меньших тепловых потерь оснастив нашу камеру рекуператорами (теплообменниками). За счёт них можно добиться теплообмена между приточным и выходящим воздухом. Таким образом можно сэкономить на тепловой энергии и значительно снизить скачки температуры при вентиляции, при этом улучшить качество сушки пиломатериалов. На данный момент сушильные камеры, оснащенные рекуператорами на территории РФ не выпускаются.

1.1 РЕЖИМЫ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ.

Сегодня эксперты используют различные режимы сушки, которые подбираются в соответствии с сортом древесины. Они различаются по температурно-влажностным показателям, а также по количеству ступеней сушки. Но эти режимы разработаны для "идеальной камеры", и на практике требуют доработки и привязки к конструктивным особенностям камер. Например, режим, который идеально подходит для одной камеры, может вызвать ускоренную сушку и привести к браку или увеличенному расходу

теплоносителей в другой камере. Главная задача технолога - подобрать оптимальный режим для каждой конкретной камеры.

При выборе режима специалисту необходимо учитывать следующие факторы, чтобы рационально сочетать их:

1. Нормы требования к качеству сушки во всех случаях определяют качество высушиваемого материала

2. Категории сушки, которые гарантируют необходимое качество сушки в условиях заданной длительности процесса.

3. Конструкция камеры для высушивания материала с определенной категорией качества так, чтобы не превысить режимную длительность. Режим, который обеспечивает наименьшую продолжительность сушки, при этом сохраняя все естественные свойства древесины, считается рациональным.

Испарение влаги в определенных условиях при сушке отражает жесткость сушильного режима. При снижении уровня влажности она увеличивается и уменьшается при повышении[1]. Размеры и порода древесины определяет выбор оптимального режима сушки.

Сушильные режимы подразделяются на несколько видов. Рассмотрим высокотемпературный режим. Перегретый пар с температурой выше 100 °С характеризует данный режим. Отсутствие дефектов в материале по окончании сушки является особенностью данного режима, при этом прочность материала снизиться. В случае большого требования к запасу прочности древесины данный режим сушки будет идеальным выбором.

Если влажный воздух не превышает 100 °С, то такой режим сушки называется низкотемпературным. Выбор конкретного режима, а именно – нормального, мягкого или форсированного, зависит от породы дерева.

В случае требования к сохранению естественных физико-механических свойств древесины, следует выбрать мягкий режим сушки. Такие явления как – всплывание смолы, изменение цвета и выпадение сучков не характерны для мягкого режима сушки.

Сохранение показателей прочности, при этом практически без потерь в цвете может обеспечить нормальный режим сушки. Сам процесс сушки является бездефектным.

Форсированный режим приводит к уменьшению прочности на скалывание и раскалывание, а также к потемнению древесины, но обеспечивает большой запас прочности для изделий, где это критично.

Рассмотрим технологическую карту процесса сушки сосны. Расчет режимов сушки и все ее особенности указаны на рисунке 2. Расчет выполняется калькулятором сушки древесины.

Толщина : 60 мм.

Ширина : 150 мм.

☐ [Реверсивная циркуляция](#)

Порода древесины

Скорость циркуляции

Начальная влажность

Сосна, ель, пихта, кедр

2 м/с

60 %

Режим сушки

Качество сушки

Конечная влажность

Мягкий

I категория

10 %

Сгенерировать

По умолчанию

Рисунок 2 – параметры сушки сосны.

Далее сгенерируем наш процесс сушки и получим следующую технологическую карту сушки (рисунок 3).

Технологическая карта процесса сушки древесины.						
Породы древесины : Сосна, ель, пихта, кедр.						
Режим сушки : 6-Мягкий.						
Толщина пиломатериала : 60 мм.						
Качество сушки : I категория.						
Режим сушки пиломатериалов в сушильной камере периодического действия						
№	Технологическая операция (фаза сушки)	Температура, °С	Относительная влажность, %	Психрометрическая разность, °С	Время, ч	Влажность древесины, %
1	Нагрев пиломатериалов	63	100	0	4	естественная
2	Сушка - 1 ступень	55	81	4		от естественной до 35
3	Сушка - 2 ступень	58	69	7		от 35 до 25
4	Промежуточная влаготеплообработка	75	100	0	3	при 25
5	Сушка - 3 ступень	75	30	24		до заданной 10
6	Конечная влаготеплообработка	83	96	1	6	10
7	Кондиционирование	75	75		5	заданная
8	Охлаждение пиломатериалов	до 30 - 40			7	заданная

Рисунок 3 – технологическая карта процесса сушки сосны.

Из технологической видно, что сушка делится на 3 ступени и промежуточные этапы. Каждая этап отличается такими показателями как: температура внутри камеры, относительная влажность, психрометрическая влажность, время продолжительности этапа, и влажность древесины на конкретном этапе процесса сушки.

1.2 ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕКТИВНЫМИ СУШИЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ (КСК).

Сегодня широко представлен ассортимент автоматических систем управления процессом сушки древесины в камерах. Однако информация, доступная на сайтах производителей, недостаточна для оценки их эффективности, что затрудняет выбор техники.

Критерием перехода на следующую фазу сушки пиломатериалов. Существует четыре способа:

- По времени.
- По средней влажности древесины, которая вычисляется на основе параметров климата (влажность и температура сушильного агента) в камере.
- По средней влажности древесины, которая определяется с помощью кондуктометрических датчиков.
- По влажности древесины перехода, учитывающей как среднюю влажность, так и разброс влажности по толщине загруженного пиломатериала. Влажность древесины измеряется при помощи кондуктометрических датчиков. Первый вариант неэффективен в связи с тем, что время, необходимое для каждой фазы сушки, зависит от множества факторов, таких как климат, местоположение древесины, степень зрелости, вида распила, начальной влажности, и других. Следовательно, временной критерий является ненадежным для перехода на следующую фазу сушки пиломатериалов. Второй вариант, основанный на параметрах климата, позволяет определить только поверхностную влажность, тогда как внутренние слои могут быть значительно более влажными. Это может привести к слишком раннему переходу на следующую фазу сушки и дальнейшему росту градиента влажности. В результате возможен дефект материала. Чем больше начальный разброс влажности древесины, тем выше риск порчи продукции.

Большинство современных сушильных камер используют третий вариант, который обеспечивает хороший результат при малом разбросе начальной влажности древесины. Однако, если разброс начальной влажности велик, для

самого влажного пиломатериала переход на следующую фазу осуществляется преждевременно, что приводит к браку и деформации материала.

В сушильных камерах применяются различные типы датчиков для измерения влажности сушильного агента. Среди наиболее распространенных можно выделить датчик равновесной влажности (EMC/UGL), датчик относительной влажности и психрометр.

В отличие от первых двух, психрометр обеспечивает регулирование скорости испарения влаги с поверхности пиломатериалов в зависимости от влажности и скорости проходящего через штабель сушильного агента. Это особенно важно, так как скорость потока может изменяться в разных камерах и даже при использовании самодельных систем.

Психрометрическая разность также зависит от скорости потока, но при увеличении последней автоматика уменьшает ее, что снижает скорость испарения и позволяет автоматически корректировать режим сушки. Таким образом, использование психрометра в сушильных камерах обеспечивает более точный и универсальный контроль над процессом сушки.

Для проекта был выбран автоматический способ управления, так как сушка таким способом наиболее точная и менее затратная по времени. Для осуществления данного управления нам понадобится ПЛК, он позволит добиться нужной температуры и влажности на каждом этапе сушки.

2.ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Так как температура и влажность играют основную роль в процессе сушки, нам потребуется вентилятор, который будет циркулировать воздух в камере. Первым этапом будет являться выбор двигателя и расчет его параметров. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные вентилятора

Скорость вращения вала вентилятора, об/мин	Напор, Па	Производительность вентилятора, м³/с	КПД вентилятора, %
1200	1100	5,76	0,56

2.1. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

$$P = \frac{k_z \cdot Q_g \cdot H_g}{\eta_g \cdot \eta_n} = \frac{1.5 \cdot 5,76 \cdot 1100}{0,56 \cdot 0,95} = 17,864 (\text{кВт}) \quad (2.1)$$

где k_z – коэффициент запаса мощности, $k_z = 1.5$;

Q_g – подача вентилятора, м³/с;

H_g – напор, Па;

η_g – КПД вентилятора.

η_n – КПД передачи от двигателя до вентилятора.

Выполнение следующего условия позволит выбрать двигатель

$$P_n \geq P_{расч} = 18,5 (\text{кВт}) \quad (2.2)$$

По полученной расчётной мощности с учётом номинальной скорости выбираем электродвигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором типа 4А, 380 В, 50 Гц, параметры двигателя представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры двигателя

Тип	n, об/мин	P _{2ном} , кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.				
			$\eta_n, \%$	$\cos \varphi_n$	x'_μ	В номинальном режиме работы			
						R'_1	x'_1	R''_1	x''_2
4A160M4У3	1500	18,5	89,5	0,88	4,3	0,042	0,085	0,024	0,13

Продолжение таблицы 2

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{М}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$s_{\text{н}}, \%$	$s_{\text{к}}, \%$	$k_{i_{\text{дв}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^3$	Степень защиты
1,4	1,0	2,3	2,2	16,0	7,0	0,13	IP44

2.2. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{н}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ (рад/с)} \quad (2.3)$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot \omega_{\text{н}} = (1 - 0,022) \cdot 157,08 = 153,624 \text{ (рад/с)} \quad (2.4)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{18500}{153,624} = 120,424 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.5)$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток статора (действующее значение):

$$I_{1\text{фн}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{18500}{3 \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,895} = 20,604 \text{ (А)} \quad (2.6)$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i_{\text{дв}}} \cdot I_{1\text{фн}} = 7 \cdot 20,604 = 144,231 \text{ (А)} \quad (2.7)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,3 \cdot 120,424 = 276,975 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.8)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{н}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,4 \cdot 120,424 = 168,594 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.9)$$

Статический момент двигателя:

$$M_{\text{с}} = \frac{M_{\text{дв.н}}}{i_{\text{ст.р}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{168,594}{2 \cdot 0,895} = 67,276 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (2.10)$$

2.3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Использование математической модели асинхронного двигателя представляется в виде различных схем замещения, это позволит рассчитать естественные механические и электромеханические характеристики [2]. Т-образная схема замещения (рисунок 4) является самой простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя.

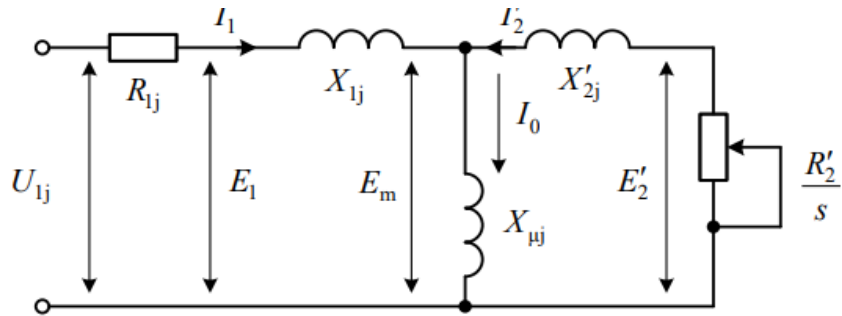


Рисунок 4. Схема замещения АД.

Расчет параметров схемы замещения приведен ниже.

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,042 \cdot \frac{220}{20,604} = 0,448 (\text{Ом}) \quad (2.11)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора:

$$X_{1\sigma} = x_1' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,085 \cdot \frac{220}{20,604} = 0,908 (\text{Ом}) \quad (2.12)$$

Индуктивность обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{0,908}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,889 \cdot 10^{-3} (\text{мГн}) \quad (2.13)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,024 \cdot \frac{220}{20,604} = 0,256 (\text{Ом}) \quad (2.14)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора:

$$X_{2\sigma}' = X_2' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,13 \cdot \frac{220}{20,604} = 1,388 (\text{Ом}) \quad (2.15)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{1,388}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 4,418 \cdot 10^{-3} (\text{мГн}) \quad (2.16)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме:

$$X_{кн} = X'_{1\sigma} + X'_{2\sigma} = 0,908 + 1,388 = 2,296 (\text{Ом}) \quad (2.17)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = x'_{\mu} \cdot \frac{U_{1фн}}{I_{1фн}} = 4,3 \cdot \frac{220}{20,604} = 45,912 (\text{Ом}) \quad (2.18)$$

Индуктивность контура намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{45,912}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,146 (\text{Гн}) \quad (2.19)$$

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, мГн	$X_{кн}$, Ом
0,448	0,908	0,002889	45,912	0,146	0,256	1,388	0,004418	2,296

2.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Выбор преобразователя частоты зависит от многих факторов, таких как мощность, тип нагрузки, требуемая точность управления скоростью, доступность и стоимость [2]. Основные типы преобразователей частоты включают в себя:

1. Частотные преобразователи напряжения - используются для управления скоростью асинхронных двигателей. Они изменяют частоту питающего напряжения.

2. Частотные преобразователи тока - работают на основе тех же принципов, что и частотные преобразователи напряжения, но вместо изменения напряжения изменяют частоту питающего тока.

3. Синхронные приводы с постоянными магнитами - обеспечивают более высокую точность регулирования скорости и более эффективную работу за счет использования синхронных двигателей с постоянными магнитами.

4. Многоволновые преобразователи - получают популярность благодаря своей способности сократить гармоники и прочие отрицательные волны.

5. Прямой привод - используется для непосредственного привода двигателя без использования преобразователя.

Выбор преобразователя должен осуществляться с учетом специфики конкретной нагрузки и задачи.

Выберем преобразователь частоты ONI A650 (рис.5). Преобразователь частоты ONI A650 был специально разработан для использования в системах вентиляции и насосных установках. В базовой комплектации он уже включает специальную плату для каскадного управления насосами, позволяющую объединить до 5 насосов в один каскад.



Рисунок 5 – преобразователь частоты ONI A650.

Благодаря функции "Защита от сухого хода" срок службы оборудования продлевается, а функция "Плавное заполнение трубы" снижает риск гидроударов в системе. Есть также функция "Очистка насоса", которая позволяет легко очищать насос от загрязнений без дополнительных усилий.

На преобразователе имеются 2 релейных выхода для расширения конфигурации.

Основные технические характеристики ПЧ представлены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики ONI A650.

Питающая сеть	3ф. 380 В 50/60 Гц
Выходная мощность	до 160 кВт
Выходной ток	до 304 А
Напряжение и частота выхода	3ф. 0...380В 0...400 Гц
Характеристики применения	Универсальный ПЧ в широком диапазоне мощностей для: – систем вентиляции; – насосных установок средней и большой мощностей

2.4.1 РАСЧЕТ ИНВЕРТОРА

Максимальный ток через ключи инвертора:

$$I_{c.max} = \frac{P_n \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1fn}} = \frac{18500 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2}{0,895 \cdot 0,88 \cdot \sqrt{3} \cdot 220} = 146,456 \text{ (А)}, \quad (2.20)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя;

$k_1 = 1,4$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики электропривода;

$k_2 = 1,2$ – коэффициент допустимой пульсации тока;

η_n – номинальный КПД двигателя;

$\cos \varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности двигателя;

U_{1fn} – номинальное линейное напряжение двигателя.

Для расчета потерь в инверторе при использовании ШИМ-формирования синусоидального тока на выходе необходимо учитывать потери, связанные с транзисторами IGBT в состоянии проводимости и в процессе коммутации, а также потери, вызванные обратным диодом.

Потери в IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{ss} = I_{cp} \cdot U_{ce.sat} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \varphi_n \right) =$$

$$104,611 \cdot 2,2 \cdot \left(\frac{1}{8} \cdot \frac{0,95}{3 \cdot 3,14} \cdot 0,88 \right) = 49,183 \text{ (Вт)} \quad (2.21)$$

$$\text{где } I_{cp} = \frac{I_{c.max}}{k_1} = \frac{146,456}{1,4} = 104,611 \text{ (А)} - \text{максимальная амплитуда тока на}$$

входе инвертора;

$D = 0,95$ – максимальная скважность;

$U_{ce(sat)} = 2,2$ – прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{cp} .

Потери IGBT при коммутации:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{con} + t_{coff}) \cdot f_{sw}}{2} =$$
$$= \frac{1}{3,14 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{104,611 \cdot 297 \cdot 10^{-6} (0,4 + 0,7) \cdot 5000}{2} = 19,231 \text{ (Вт)}, \quad (2.22)$$

где $t_{con} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ (с) – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открывание транзистора;

$t_{coff} = 0,7 \cdot 10^{-6}$ (с) – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на закрывание транзистора;

$U_{cc} = k_{cn} \cdot U_{1\phi n} = 1,35 \cdot 220 = 297$ (В) – напряжение на коллекторе IGBT, (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока);

$k_{cn} = 1,35$ – коэффициент схемы для номинальной нагрузки;

$f_{sw} = 5000$ – частота коммутации ключей.

Суммарные потери в IGBT:

$$P_Q = P_{ss} + P_{sw} = 49,183 + 19,231 = 68,414 \text{ (Вт)} \quad (2.23)$$

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \varphi_n \right) =$$
$$104,611 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{8} \cdot \frac{0,95}{3 \cdot 3,14} \cdot 0,88 \right) = 44,711 \text{ (Вт)}, \quad (2.24)$$

где $I_{ep} \approx I_{cp}$ – максимальная амплитуда тока через обратный диод;

$U_{ec} = 2$ (В) – прямое падение напряжения на диоде при I_{ep} .

Потери при восстановлении запирающих свойств диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw} =$$
$$= \frac{1}{8} \cdot 104,611 \cdot 297 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 3,884 \text{ (Вт)}, \quad (2.25)$$

где $t_{rr} = 0,2$ (мкс) – продолжительность обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 48,595 \text{ (Вт)} \quad (2.26)$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = 117,009 \text{ (Вт)} \quad (2.27)$$

Условие выбора ключей IGBT: постоянный ток коллектора $I_c \geq I_{c\max}$ [3].

Согласно сделанным расчетам и условию, выбираем модули IGBT фирмы Mitsubishi поколения NX6:

Тип модуля: CM150DX-34SA;

Ток коллектора (постоянный): $I_c = 150 \text{ (А)}$;

Напряжение: 1700 (В).

2.4.2 РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{c\max}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_n + n \cdot P_T}{U_d} =$$
$$= \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{146,456}{\sqrt{2}} \right) \cdot 220 \cdot 0,88 + 3 \cdot 117,009}{297} = 118,105 \text{ (А)}, \quad (2.28)$$

где $n = 3$ – количество пар транзисторов и диодов в инверторе;

$U_d = U_{cc}$ – напряжение звена постоянного тока.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 123,42 \text{ (А)}, \quad (2.29)$$

где $k_{cc} = 1,045$ – для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода для мостовой схемы:

$$U_{vm} = k_{zn} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\phi n} \cdot k_{cn} \cdot k_c + \Delta U_n =$$
$$= 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1,35 \cdot 1,5 + 150 = 874,537 \text{ (В)}, \quad (2.30)$$

где $k_{zn} = 1,35$ – коэффициент допустимого повышения напряжения;

$\Delta U_n = 150 \text{ (В)}$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Потери в выпрямителе при установившемся режиме работы:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} =$$

$$= 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot \frac{118,105}{1,4} = 292,058 \text{ (Вт)}, \quad (2.31)$$

где $k_{cs} = 0,577$ – для мостовой трехфазной схемы;

R_{on} – динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии;

U_j – прямое падение напряжения на приборе при токе 50 (мА);

принимается, что: $\left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \leq 1 \text{ (В)}$;

$m_v = 6$ – число полупроводниковых приборов в схеме.

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока инвертора:

$$C = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{sm} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_n}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{sw} \cdot q_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 87,176 \cdot (0,037)}{2 \cdot 297 \cdot 5000 \cdot 0,057} = 3,273 \cdot 10^{-5} \text{ (Ф)}, \quad (2.32)$$

$$\text{где } I_{sm} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_d \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{\sqrt{2} \cdot 18500}{\sqrt{3} \cdot 297 \cdot 0,88 \cdot 0,895} = 87,176 \text{ (А)} - \text{амплитудное}$$

значение тока в фазе двигателя;

$\varphi_n = 0,45$ – угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока.

$$q_1 = \frac{2}{m_v^2 - 1} = \frac{2}{36 - 1} = 0,057 - \text{коэффициент пульсаций на входе фильтра.}$$

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $\frac{U_{vm}}{100}$). Согласно проделанным расчетам и условию, выбираем диодные модули фирмы Mitsubishi:

Тип модуля: RM150DZ-24;

Ток коллектора (постоянный): $I_{vm} = 150$ (А);

Напряжение 1200 В.

2.4.3 СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Силовая схема регулируемого электропривода [2] представлена на рисунке 6.

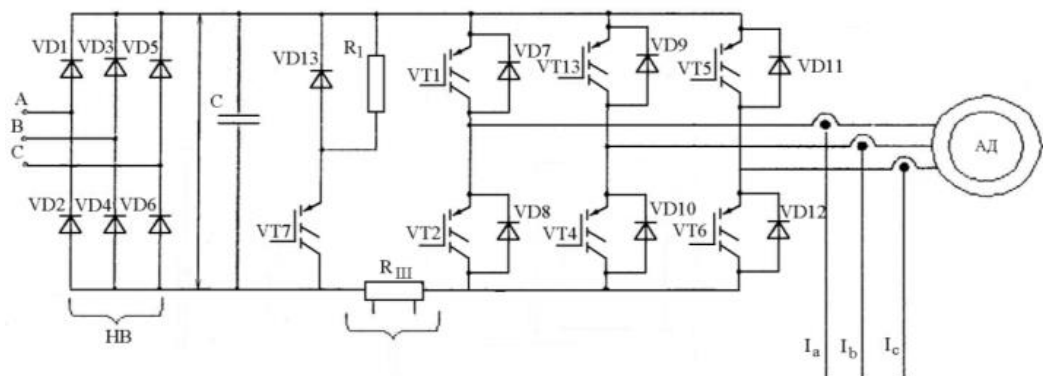


Рисунок 6 – силовая схема.

Силовые элементы схемы:

Силовые IGBT – транзисторы - CM150DX-34SA;

Силовые диоды – RM150DZ-24;

Конденсатор – $C = 3,273 \cdot 10^{-5}$ (Ф).

Переменное напряжение трехфазной сети поступает на выпрямитель, который преобразует переменное напряжение в постоянное, сглаживание постоянного напряжения осуществляется электролитическим конденсатором. Выпрямленное напряжение поступает на инвертор, который с помощью закона ШИМ-модуляции формирует напряжение на выходе и поступает на статорные обмотки [4]. Силовые ключи инвертора являются IGBT транзисторами с быстродействующими диодами. Для контроля за величиной тока в силовой цепи используется шунт $R_{ш}$. Драйверы выполнены для согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы и

защитных функций. Все элементы преобразователя установлены на двух платах и находятся в пластиковом корпусе.

2.5. РАСЧЕТ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для измерения тока можно использовать токовый шунт. Одним из главных преимуществ такого датчика является линейность регулировочной характеристики. Ток от фазы статора можно измерить с помощью этого шунта. Пусковой ток может быть максимум в 7 раз больше нормы. Максимальное выходное напряжение канала измерения тока составляет 3 В.

На рисунке 7 представлена принципиальная схема.

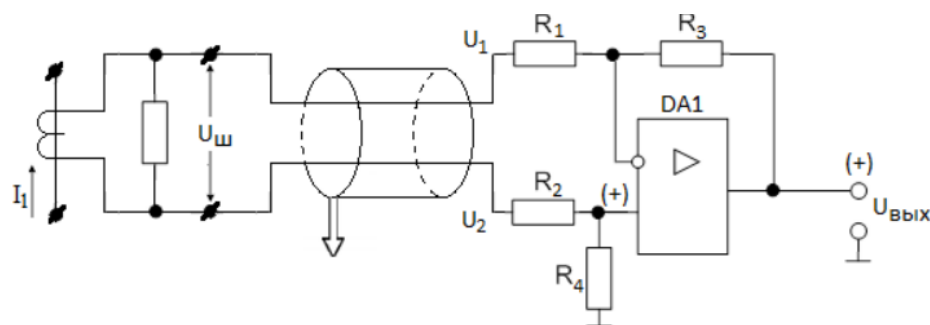


Рисунок 7 – схема датчика тока.

Сам по себе токовый шунт не предназначен для измерения больших значений тока, поэтому воспользуемся трансформатором тока.

Максимальный ток обмотки статора:

$$I_{\max} = I_{\text{пуск}} = I_{\text{фн}} \cdot \lambda = 20,604 \cdot 6 = 123,627 \text{ (A)} \quad (2.33)$$

Выбираем измерительный трансформатор тока серии МАК-RU 74/50 фирмы «ELERON». Максимальный ток первичной обмотки – 150(A). Ток вторичной обмотки – 5(A). Класс точности – 3. На рисунке ниже изображен чертеж трансформатора.

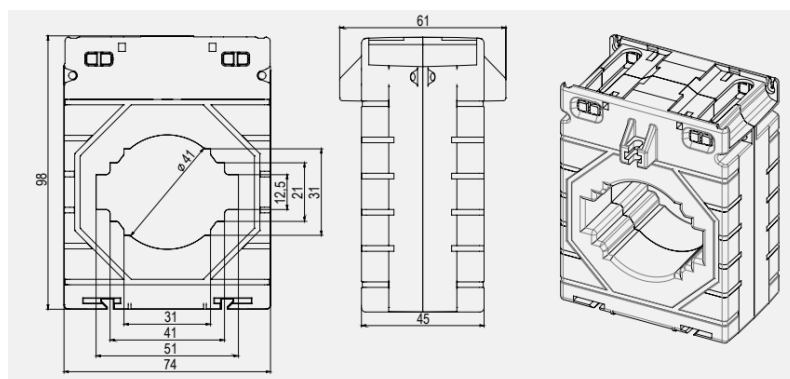


Рисунок 8 – чертеж трансформатора тока.

В качестве токового шунта выберем шунт производителя “ЭНМАКСО” 75ШИП1-5-0.5. Технические параметры представлены в таблице 5.

Таблица 5. Технические параметры

Класс точности	0,5
Номинальный ток, А	5
Номинальное напряжение, В	0,075
Номинальное сопротивление, мкОм	15000
Масса, кг	0,1

Функциональная схема датчика тока представлена на рисунке 9.

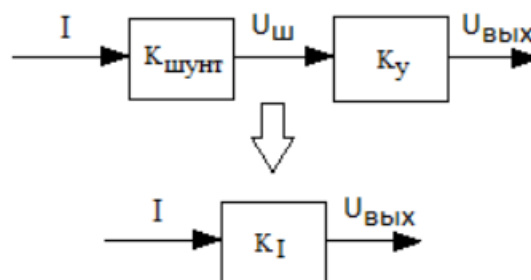


Рисунок 9 – принципиальная схема.

Коэффициент передачи канала измерения тока:

$$K_1 = \frac{U_{\text{вых_шунт}}}{I_{\text{ном_шунт}}} = \frac{3}{5} = 0,6 \text{ (В/А)} \quad (2.34)$$

Коэффициент передачи токового шунта:

$$K_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{max_шунт}}}{I_{\text{max_шунт}}} = \frac{0,075}{5} = 0,015 \text{ (В/А)} \quad (2.35)$$

Коэффициент усиления дифференциального усилителя:

$$K_y = \frac{K_I}{K_{\text{ш}}} = \frac{0,6}{0,015} = 40 \quad (2.36)$$

Для подачи знакопостоянного сигнала на вход АЦП микроконтроллера требуется использовать схему сопряжения с напряжением сдвига 3В (смотреть рис. 10), которая состоит из следующих компонентов:

- ОУ – операционный усилитель;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- УЗ – устройство защиты входов АЦП от перенапряжений;
- Схема сопряжения.

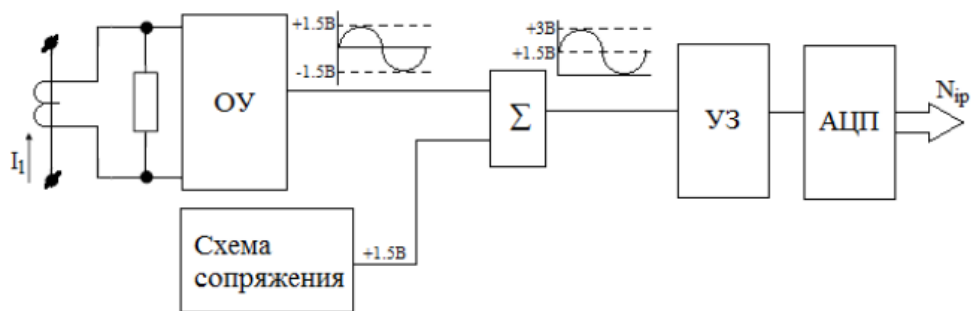


Рисунок 10 – Функциональная схема канала измерения тока.

2.6 ВЫБОР АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ

Выберем автоматический выключатель. Для его выбора необходимо обеспечить выполнение условий:

1. $I_{ном} \geq I_{расц}$;
2. $I_{расц} \geq I_{ол}$, $I_{ол} \geq I_{номЭД} = 20,604 \text{ (A)}$;
3. $I_{кз} \geq 1,25I_{кр} = 1,25 \cdot 144,231 = 180,289 \text{ (A)}$;
4. $K_n \geq \frac{I_{кз}}{I_{ном.расц}}$ – уставка срабатывания расщепителя.

Для защиты от токов короткого замыкания выберем автоматический выключатель фирмы “Ace-Reare” ARM6DC с номинальным током – 200 (А). Технические характеристики представлены в таблице 6.

Таблица 6. Технические характеристики автоматического выключателя

Времятоковая характеристика	D
Количество полюсов	3
Механическая выносливость	7000
Номинальная частота сети, Гц	50
Номинальное напряжение, В	380

2.7 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

Для построения естественных механических и электромеханических характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ асинхронного двигателя определим параметры схемы замещения в номинальном режиме [2].

Ток холостого хода двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p_* \cdot I_{1n} \cdot [1-s_n]}{1 - p_* \cdot s_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_* \cdot [1-s_n]}{1 - p_* \cdot s_n} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{27,789^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 35,59 \cdot [1-0,022]}{1-0,75 \cdot 0,022} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot [1-0,022]}{1-0,75 \cdot 0,022} \right)^2}} = 12,354 \text{ (A)}, \quad (2.37)$$

где $I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1\phi n} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,89} = 27,789 \text{ (A)}$ – ток статора

двигателя при частичной нагрузке;

$$p_* = \frac{P}{P_n} \text{ – коэффициент загрузки двигателя, принимаем } p_* = 0,75;$$

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1\phi n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,895} = 35,59 \text{ (A)} \text{ – ток статора двигателя}$$

при номинальной нагрузке;

η_{p*} – КПД двигателя при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке.

Расчётный коэффициент:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{доб}} \cdot I_{1n}} = 1 + \frac{12,354}{2 \cdot 7 \cdot 35,59} = 1,025 \quad (2.38)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot (1-s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_n \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} =$$

$$= \frac{1 \cdot 220^2 \cdot (1-0,022)}{2 \cdot 2,3 \cdot 18500 \cdot 1,025^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,102} \right)} = 0,147 \text{ (Ом)}, \quad (2.39)$$

где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$,
предварительно принимаем $\beta = 1$;

$$s_{\kappa} = s_n \cdot \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)} =$$

$$= 0,022 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,022 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,022 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1)} = 0,102$$

– критическое скольжение двигателя.

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,025 \cdot 0,147 \cdot 1 = 0,151 \text{ (Ом)} \quad (2.41)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\kappa\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 9,722 \cdot 1,025 \cdot 0,147 = 1,469 \text{ (Ом)}, \quad (2.42)$$

где $\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\kappa}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,102^2} - 1^2} = 9,722$ – коэффициент, определяющий

отношение индуктивного сопротивления к.з. в номинальном режиме к приведенному активному сопротивлению обмотки ротора.

Приведенное сопротивление рассеяния обмотки ротора:

$$X_{1n} = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{1,469}{1,025} = 0,832 \text{ (Ом)} \quad (2.43)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора:

$$X_{2n} = 0,42 \cdot X_{\kappa\kappa} = 0,58 \cdot \frac{1,469}{1,025} = 0,832 \text{ (Ом)} \quad (2.44)$$

ЭДС ветви намагничивания:

$$E_{\mu} = \sqrt{(U_{1\phi n} \cdot \cos \varphi_n - I_{1n} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi n} \cdot \arccos \varphi_n - I_{1n} \cdot X_{1n})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 35,59 \cdot 0,151)^2 + (220 \cdot 1,104 - 35,59 \cdot 0,602)^2} =$$

$$188,808 \text{ (В)} \quad (2.45)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_{\mu}}{I_0} = \frac{188,808}{12,354} = 15,283 \text{ (Ом)} \quad (2.46)$$

После расчета параметров схемы замещения, рассчитаем естественные характеристики электродвигателя.

Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$

рассчитывается по выражениям:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (2.47)$$

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

Номинальный электромагнитный момент двигателя:

$$M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,147}{157,08 \cdot 0,022 \cdot \left[1,469^2 + \left(0,151 + \frac{0,147}{0,022} \right)^2 + \left(\frac{0,151 \cdot 0,147}{15,283 \cdot 0,022} \right)^2 \right]} =$$

$$= 126,06 \text{ (Н·м)} \quad (2.48)$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 126,064 - 120,424 = 5,64 \text{ (Н·м)} \quad (2.49)$$

Критический момент двигателя:

$$M_{\text{эм}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\kappa n}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot \left[0,151 + \sqrt{(0,151^2 + 1,469^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{0,151}{15,283} \right)^2 \right]} \right]} =$$

$$= 283,83 \text{ (Н·м)} \quad (2.50)$$

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 11.

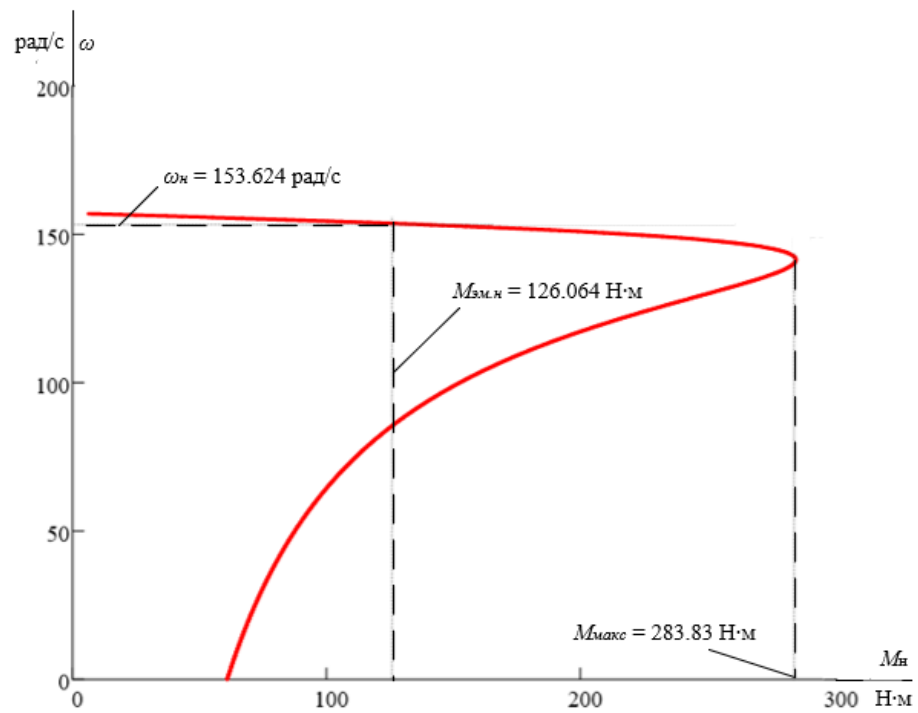


Рисунок 11 – естественная механическая характеристика $\omega(M)$.

Используем следующие выражения для построения естественных электромеханических характеристик асинхронного двигателя:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi н}}{\sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \quad (2.51)$$

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

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,469}{\sqrt{\left(0,151 + \frac{0,149}{s}\right)^2 + 1,469^2}}$$

Естественные электромеханические характеристики асинхронного двигателя построены на рисунке 12.

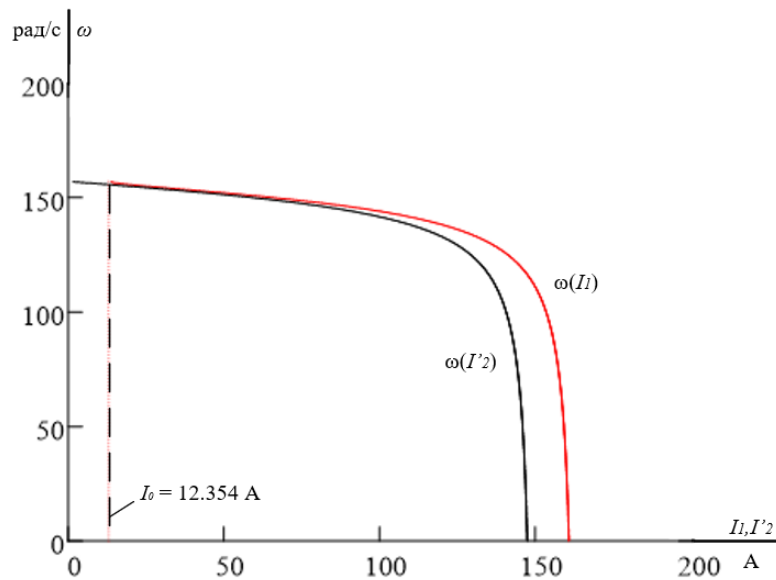


Рисунок 12 – электрохимические характеристики двигателя.

Следующим шагом будет построение механических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Воспользуемся законом частотного регулирования $\frac{U_1}{f_1} = const$. Данный закон является более сложным в реализации, но позволяет снизить потребление энергии из сети за счет дополнительного снижения напряжения.

Механические характеристики двигателя при переменных значениях частоты напряжения питания рассчитываются по выражениям:

$$M_{эм.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right) + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} \quad (2.52)$$

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

$$\text{где } U_1(f_1) = U_{1\phi н} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 \text{ при } f_1 < f_{1\phi н}; \quad U_1(f_1) = U_{1\phi н} \text{ при } f_1 \geq f_{1\phi н}$$

Построим семейство механических характеристик (рисунок 13) по результатам расчета.

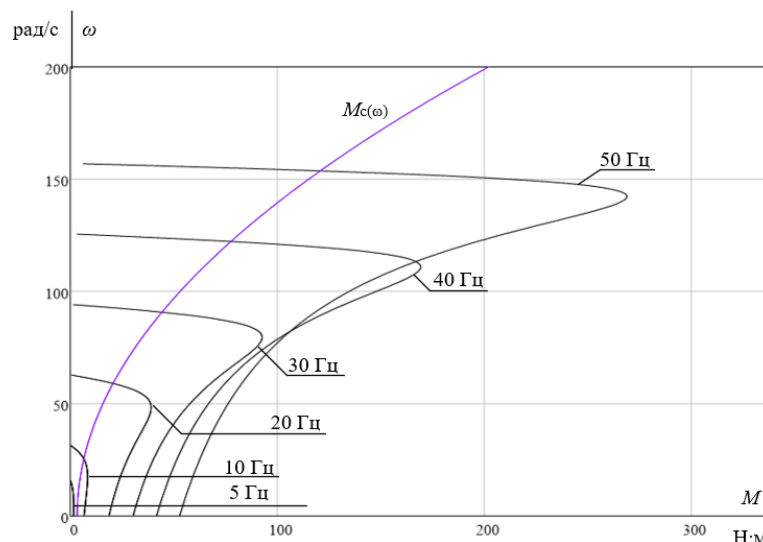


Рисунок 13 – семейство механических характеристик.

Проанализировав семейство механических характеристик, можно заметить, что при частоте $f = 5$ Гц не удастся обеспечить запуск двигателя.

Воспользуемся настройкой вольт–частотной характеристики для обеспечения запуска на требуемой частоте и повышения пускового момента путем увеличения напряжения нижним частотам [2].

Вольт–частотная характеристика представлена зависимостью:

$$U_1(f_1) = U_{1\min} + (U_{1\phi n} - U_{1\min}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2 \quad (2.53)$$

Данная характеристика приведена на рисунке 14.

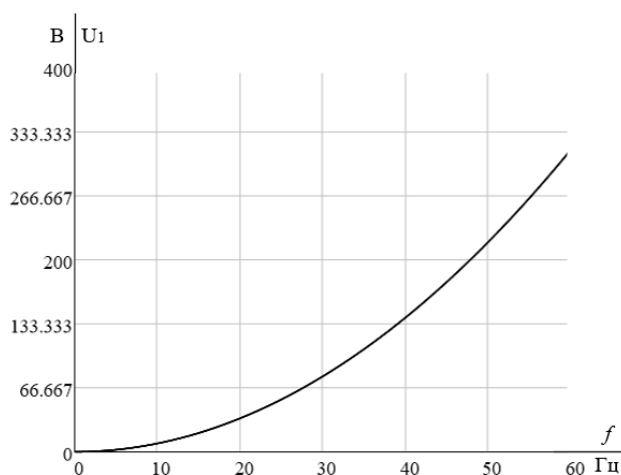


Рисунок 14 – вольт–частотная характеристика.

Экспериментально выберем параметры начального участка вольт–частотной характеристики с целью обеспечения нужного пускового момента при

частоте $f = 5 \text{ Гц}$. Выберем минимальное напряжение 10 В . Построим механические характеристики с учетом настройки (рисунок 15).

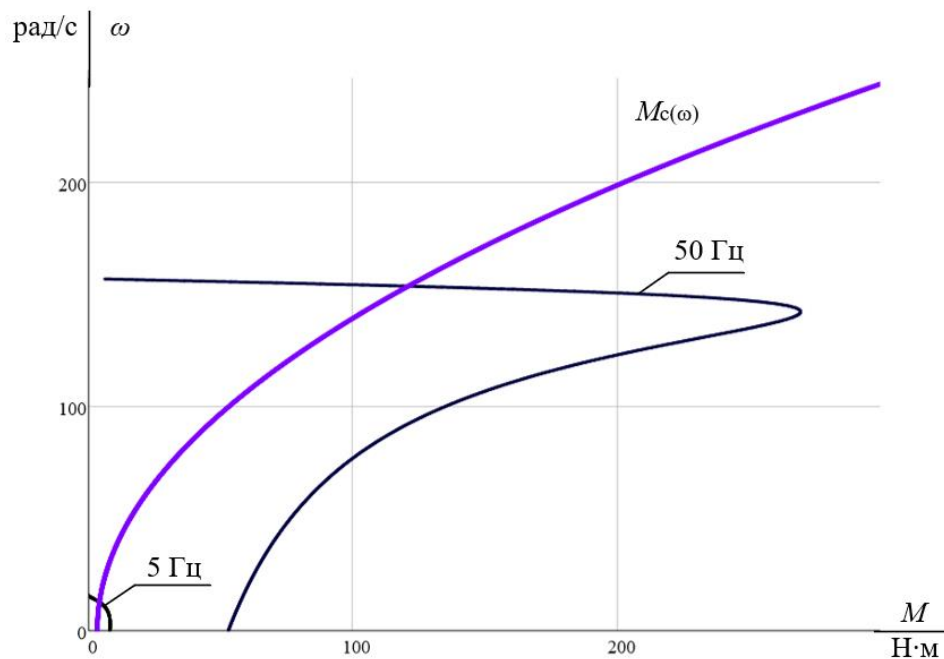


Рисунок 15 – механическая характеристика после вольт–частотной настройки.

2.8 РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ И ПОСТОЯННЫХ ВРЕМЕНИ СИСТЕМЫ

Максимальное значение коэффициента усиления ПЧ:

$$k_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi H}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,027, \quad (2.54)$$

где $U_{УП.МАКС} = 10$ – максимальное значение напряжения управления.

Постоянная времени преобразователя:

$$T_H = \frac{1}{f_{ШИМ}} = \frac{1}{5000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (с)} \quad (2.55)$$

Эквивалентная индуктивность статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} = 2,889 \cdot 10^{-3} + 0,146 = 0,149 \text{ (Гн)} \quad (2.56)$$

Эквивалентная индуктивность ротора:

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_{\mu} = 4,418 \cdot 10^{-3} + 0,146 = 0,151 \text{ (Гн)} \quad (2.57)$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,146^2}{0,149 \cdot 0,151} = 0,048 \quad (2.58)$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,151 + 0,147 \cdot \frac{0,146^2}{0,151^2} = 0,29 \text{ (Ом)} \quad (2.59)$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_{\text{э}} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\text{э}}} = \frac{0,048 \cdot 0,149}{0,29} = 0,025 \text{ (с)} \quad (2.60)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,151}{0,147} = 1,021 \text{ (с)} \quad (2.61)$$

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.1 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ.

Для построения имитационной модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором воспользуемся программной средой Matlab Simulink [6]. Закон частотного регулирования был выбран в главе выше. Нагрузка – вентиляторная.

На рисунке 16 приведена имитационная модель асинхронного двигателя.

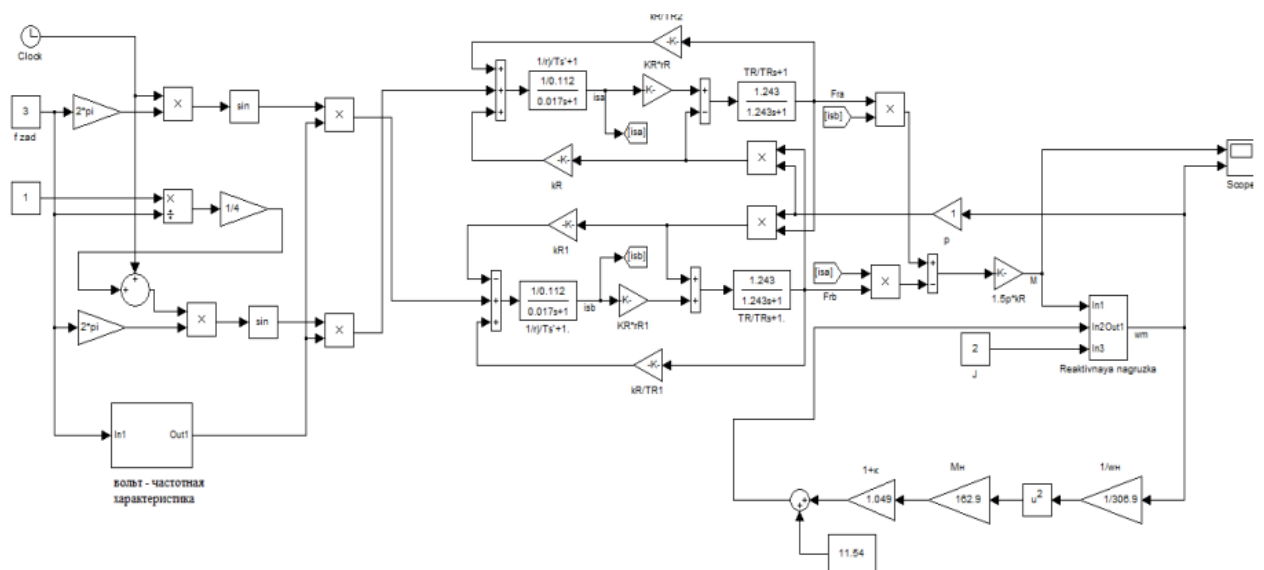


Рисунок 16 – имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Выполним пуск двигателя при частоте 50 Гц. Осциллограмма представлена на рисунке 17.

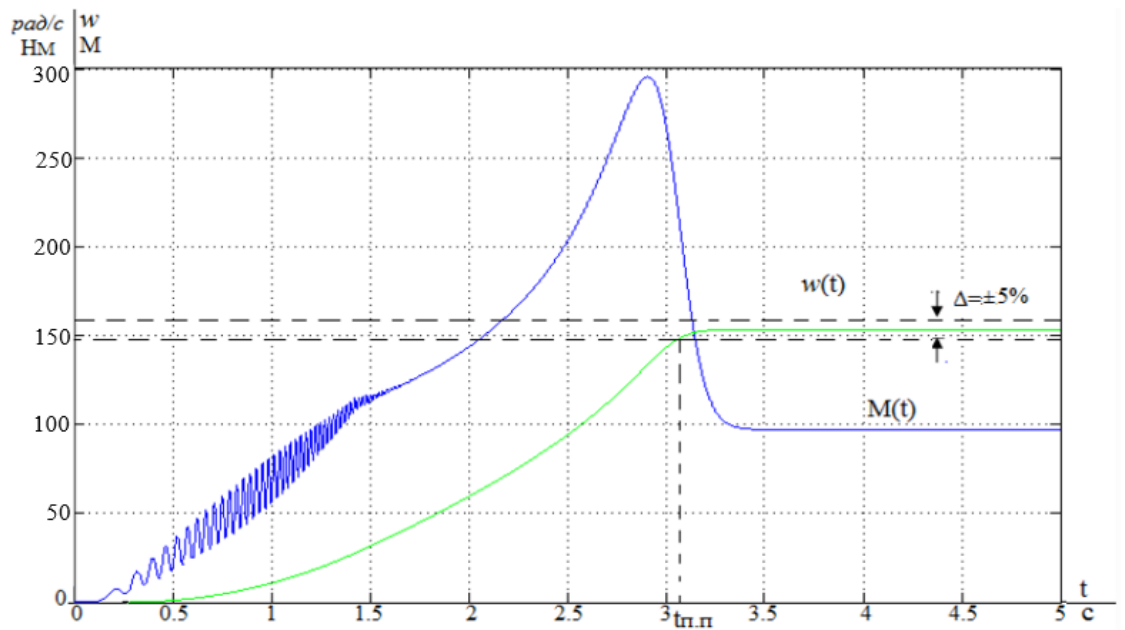


Рисунок 17 – переходный процесс двигателя с вентиляторной нагрузкой при частоте 50 Гц.

Так как на механических характеристиках выше при частоте 3 Гц было продемонстрировано то, что пуск двигателя не обеспечивается. Для пуска двигателя реализуем настройку вольт–частотной характеристики. Построение модели вольт–частотной характеристики представлено на рисунке 18.

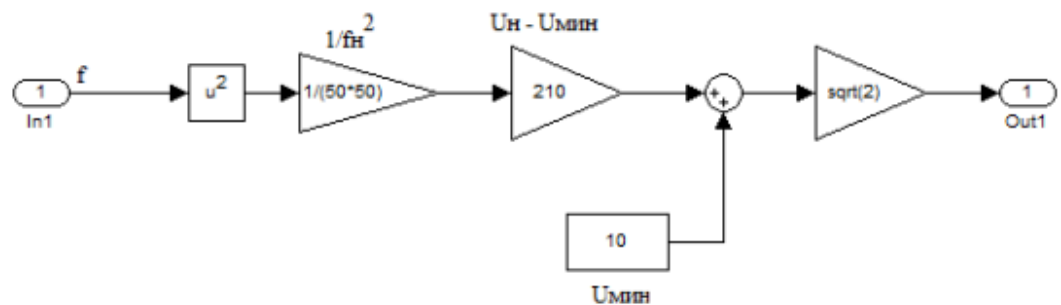


Рисунок 18 – имитационная модель вольт–частотной характеристики.

3.2 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ПРИ НАСТРОЙКЕ ВОЛЬТ–ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Так как на механических характеристиках выше при частоте 5 Гц было продемонстрировано то, что пуск двигателя не обеспечивается. Для пуска двигателя реализуем настройку вольт–частотной характеристики. Построение модели вольт–частотной характеристики представлено на рисунке 19.

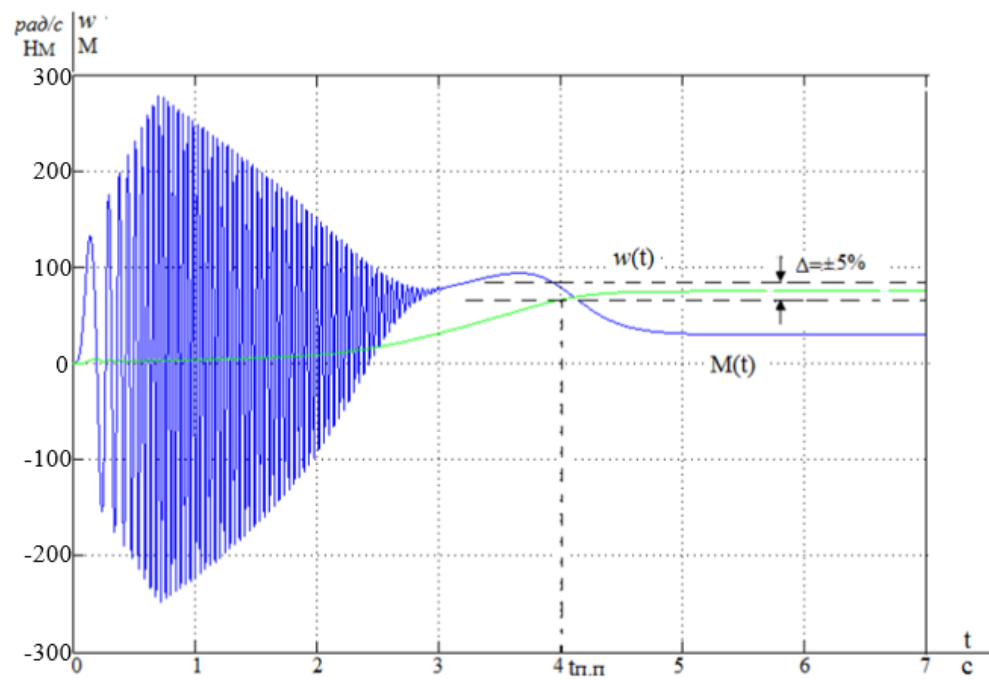


Рисунок 22 – переходные процессы пуска АД после настройки
вольт–частотной характеристики при частоте 30 Гц.

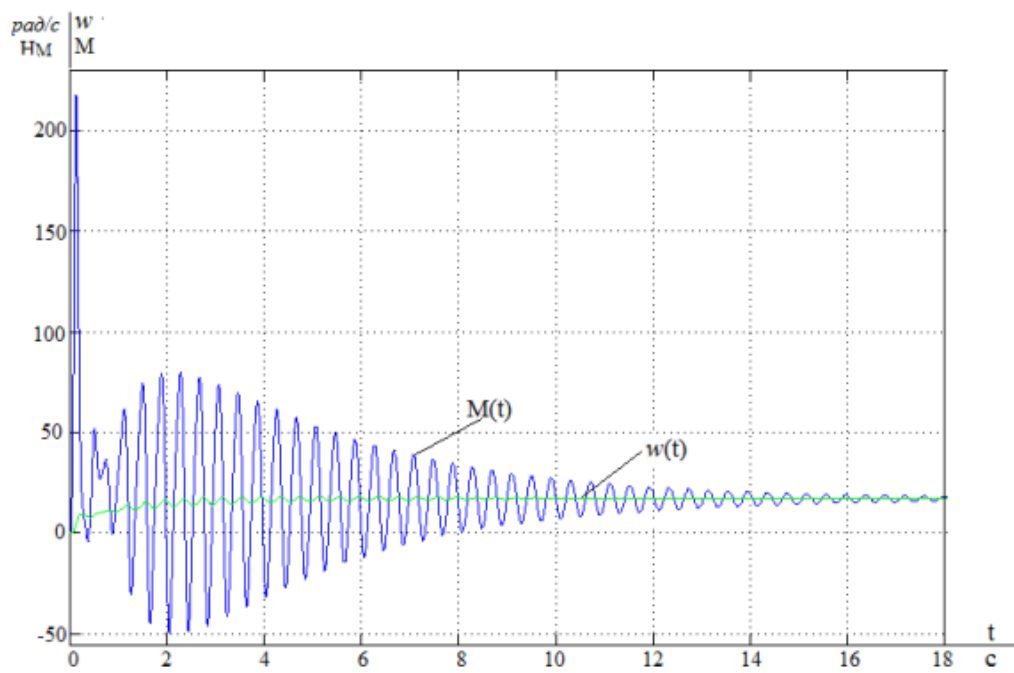


Рисунок 23 – переходные процессы пуска АД после настройки
вольт–частотной характеристики при частоте 5 Гц.

4. АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЛЕРА.

4.1 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Для реализации качественного процесса сушки пиломатериала как отмечено в первой главе будет использоваться ПЛК. Он позволит осуществить своевременный и точный (по заданным параметрам) переход от одной ступени к другой. Условием перехода от одной ступени к другой будет достижение влажности W_d древесины, значения заданной W_{set} влажности штабеля на данном этапе. Значение W_{set} берется из технологической карты процесса сушки. Параметрами каждой ступени будут являться температура T внутри камеры и влажность ΔT (психрометрическая разность, которая однозначно определяет влажность). Алгоритм переключения между этапами сушки будет реализован на языке последовательных схем (SFC) (приложение А).

Первым этапом будет являться нагрев пиломатериала до заданной температуры T , при относительной влажности внутри камеры ΔT . Все параметры включая время каждого этапа взяты из технологической карты процесса. Введем булеву переменную b_{end1} для перехода от одной ступени к другой. Если значение $b_{end1} - \text{true}$ (1), переходим на следующий этап, в ином случае $b_{end1} - \text{false}$ (0), процесс продолжается на текущей ступени, до наступления первого условия.

Также стоит отметить такой этап как прогрев. Он осуществляется двумя способами:

1. Закрытие выпускных задвижек и поднятия температуры внутри камеры до установления 100% влажности внутри камеры ($\Delta T = 0$).
2. Установить форсунки внутри камеры, которые будут впрыскивать воду и поднимать влажность внутри камеры до 100% ($\Delta T = 0$).

Прогрев рекомендуется осуществлять после каждого этапа сушки, что положительно скажется на качестве материала после ее окончания.

После каждого прогрева следует с заданной скоростью остывание пиломатериала до заданной температуры и влажности внутри камеры и переход на следующую ступень.

Теперь следует написать подпрограмму, которая реализует переход от одного этапа сушки пиломатериала к другому. Данная подпрограмма включает в себя несколько условий перехода:

1. Таймер $t_{\text{раб}}$, значение которого отображает длительность процесса сушки. При достижении заданного нами значения, условия перехода выполняется.

2. Влажность древесины W_d достигла заданного значения W_{set} .

Рассмотрим порядок реализации подпрограммы. Мы находимся на одном из этапов сушки со своими параметрами T и ΔT , включается таймер с нарастающим - счетчиком. По достижению заданного значения таймер останавливается и идет проверка влажности древесины W_d . Если влажность древесины выше заданного значением W_{set} , то возвращаемся к таймеру и снова запускаем его до момента, пока действующая влажность древесины не станет меньше, после чего осуществится переход на следующую ступень (приложение А).

Реализуем программный код в Codesys и создадим ПИД-регулятор [7].

Реализуем режимы сушки, рассмотренные ранее. Начнем написание нашей программы с создания нового проекта (рисунок 24).

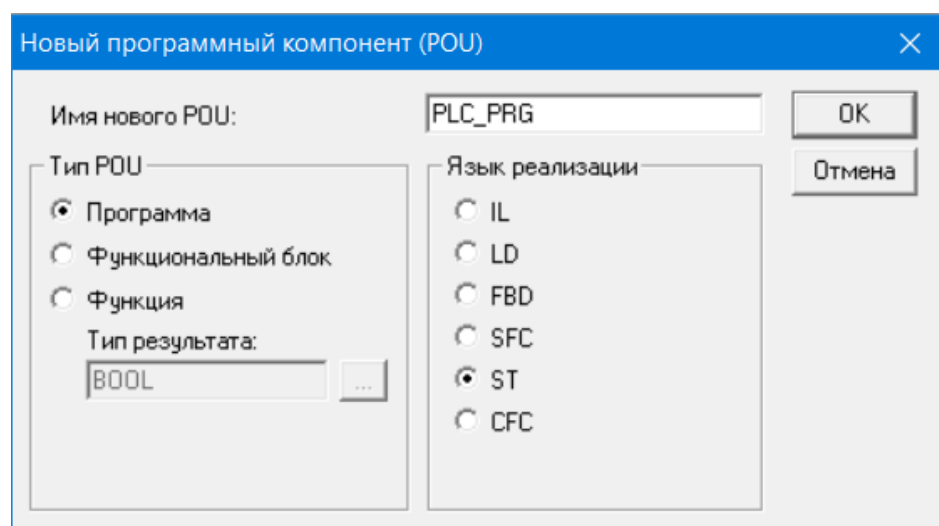


Рисунок 24 – создание нового проекта в CodeSys.

Программу будем писать на языке ST. Для обозначения режимов будем использовать булевы переменные – $b1, b2...b6$. Каждому режиму будет

соответствовать своя температура – $T1$ и влажность Tr (психрометрическая разница).

Код представлен на рисунке 25.

```
IF b1 THEN T1:=63; (*если нажимаем кнопку1, то переходим в первый режим сушки, T1 - Температура, Tr - психрометрическая разность*)
ELSE Tr:=0;
END_IF;
IF b2 THEN T1:=55; (*если нажимаем кнопку2, то переходим во второй режим сушки, T1 - Температура, Tr - психрометрическая разность*)
ELSE Tr:=4;
END_IF;
IF b3 THEN T1:=58; (*если нажимаем кнопку3, то переходим в третий режим сушки, T1 - Температура, Tr - психрометрическая разность*)
ELSE Tr:=7;
END_IF;
IF b4 THEN T1:=75; (*если нажимаем кнопку4, то переходим в четвертый режим сушки, T1 - Температура, Tr - психрометрическая разность*)
ELSE Tr:=0;
END_IF;
IF b5 THEN T1:=75; (*если нажимаем кнопку5, то переходим в пятый режим сушки, T1 - Температура, Tr - психрометрическая разность*)
ELSE Tr:=24;
END_IF;
IF b6 THEN T1:=83; (*если нажимаем кнопку6, то переходим в шестой режим сушки, T1 - Температура, Tr - психрометрическая разность*)
ELSE Tr:=1;
END_IF;
IF b1 THEN T:=T1; (*если нажимаем кнопку1, то входная величина равна T1 согласно первому режиму*)
END_IF;
IF b2 THEN T:=T1; (*если нажимаем кнопку1, то входная величина равна T1 согласно второму режиму*)
END_IF;
IF b3 THEN T:=T1; (*если нажимаем кнопку1, то входная величина равна T1 согласно третьему режиму*)
END_IF;
IF b4 THEN T:=T1; (*если нажимаем кнопку1, то входная величина равна T1 согласно четвертому режиму*)
END_IF;
IF b5 THEN T:=T1; (*если нажимаем кнопку1, то входная величина равна T1 согласно пятому режиму*)
END_IF;
IF b6 THEN T:=T1; (*если нажимаем кнопку1, то входная величина равна T1 согласно шестому режиму*)
END_IF;
```

Рисунок 25 – код первой программы.

Реализуем контур из ПИД регулятора и трех последовательно соединенных инерционных звеньев. Для создания ПИД регулятора нам понадобится создать функциональные блоки каждого звена. Начнем с интегрирующего звена, язык ST (рисунок 26).

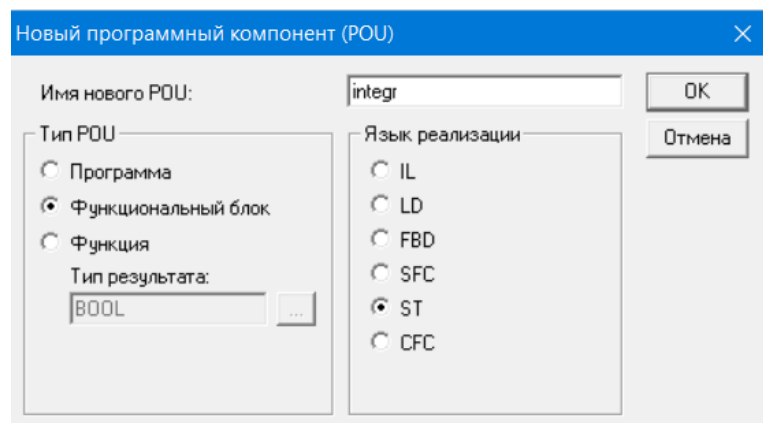


Рисунок 26 – создание интегрирующего звена.

Далее нам необходимо написать разностное уравнение интегрирующего звена и обозначить переменные. Интегратор всегда необходимо ограничивать по верхнему и нижнему пределу, переменные Y_{min} и Y_{max} . Переменные T

(постоянная времени) и X (задающее воздействие) являются входными переменными. Переменная tt (время дискретизации) является собственной переменной и влияет на скорость переходного процесса. Переменная Y – показывает значение выхода. (рисунок 27).

```

0001 FUNCTION_BLOCK integr
0002 VAR_INPUT
0003   X: REAL;
0004   T: REAL;
0005   Ymax: REAL := 150;
0006   Ymin: REAL := 0;
0007 END_VAR
0008 VAR_OUTPUT
0009   Y: REAL;
0010 END_VAR
0011 VAR
0012   tt: REAL := 0.1; (*время дискретизации, в нашем случае 100мс*)
0013 END_VAR
0014
0001 Y:=Y+X*tt/T; (*разностное уравнение интегрирующего звена*)
0002 IF Y>Ymax THEN (*ограничиваем значения выходной величины по верхнему значению*)
0003   Y:=Ymax;
0004 END_IF;
0005 IF Y<Ymin THEN (*ограничиваем значение выходной величины по нижнему значению*)
0006   Y:=Ymin;
0007 END_IF;

```

Рисунок 27 – интегрирующее звено.

Далее создадим таким же образом функциональный блок дифференцирующего звена на языке ST (рисунок 28). Входные переменные – X (задающее воздействие), Tf (время фильтра), Td (время дифференцирования). Собственные переменные – $X1$ (предыдущее значение входа), $Y1$ (предыдущее значение выхода), Y (значение выхода)– выходная переменная.

```

0001 FUNCTION_BLOCK dif
0002 VAR_INPUT
0003   Tf: REAL; (* постоянная времени фильтра*)
0004   Td: REAL;
0005   X: REAL;
0006 END_VAR
0007 VAR_OUTPUT
0008   Y: REAL;
0009 END_VAR
0010 VAR
0011   Y1: REAL;
0012   X1: REAL;
0013 END_VAR
0014
0001 Y:=Y1-Y1*tt/Tf +Td/Tf * (X-X1);
0002 Y1:=Y; (*Y1 принимает предыдущее значение выхода*)
0003 X1:=X; (*X1 принимает предыдущее значение входа*)

```

Рисунок 28 – дифференцирующее звено.

Теперь создадим инерционное звено по такому же алгоритму что и предыдущие звенья со своим разностным уравнением (рисунок 29).

```

0001 FUNCTION_BLOCK inert
0002 VAR_INPUT
0003     X: REAL;
0004     K: REAL;
0005     T: REAL;
0006 END_VAR
0007 VAR_OUTPUT
0008     Y: REAL;
0009 END_VAR
0010 VAR
0011     Y1: REAL;
0012 END_VAR
0013
0001 Y:=Y1+((K*X-Y1)*t/T);
0002 Y1:=Y;

```

Рисунок 29 – инерционное звено.

Далее необходимо создать функциональный блок ПИД регулятора на языке FBD. (рисунок 30).

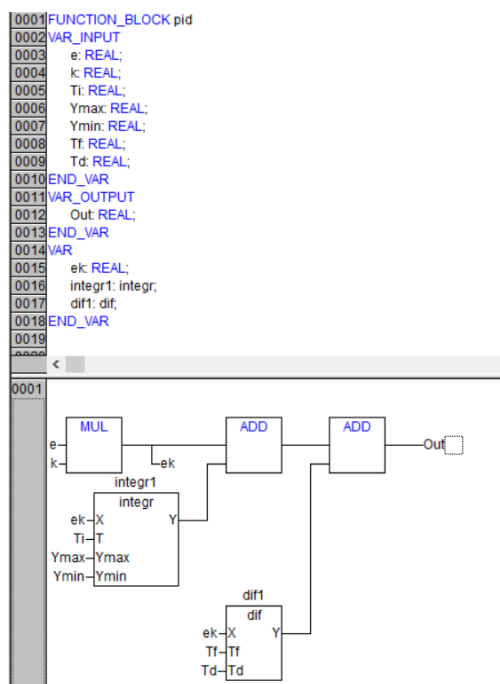


Рисунок 30 – ПИД регулятор в CodeSys.

Блок Mul в начале схемы означает перемножение. В нашем случае идет перемножение переменных e (задающее воздействие) и k (коэффициент пропорциональности).

Следующим шагом будет создание нашего контура по температуре. Для этого создадим блок SUB (разность), на вход которого мы подаем задающее

воздействие T (температура для конкретного режима сушки) и выход нашего контура Oob (обратная связь по температуре).

Далее идет наш готовый ПИД регулятор и три инерционных звена со своими коэффициентами K и постоянными времени T . (рисунок 31).

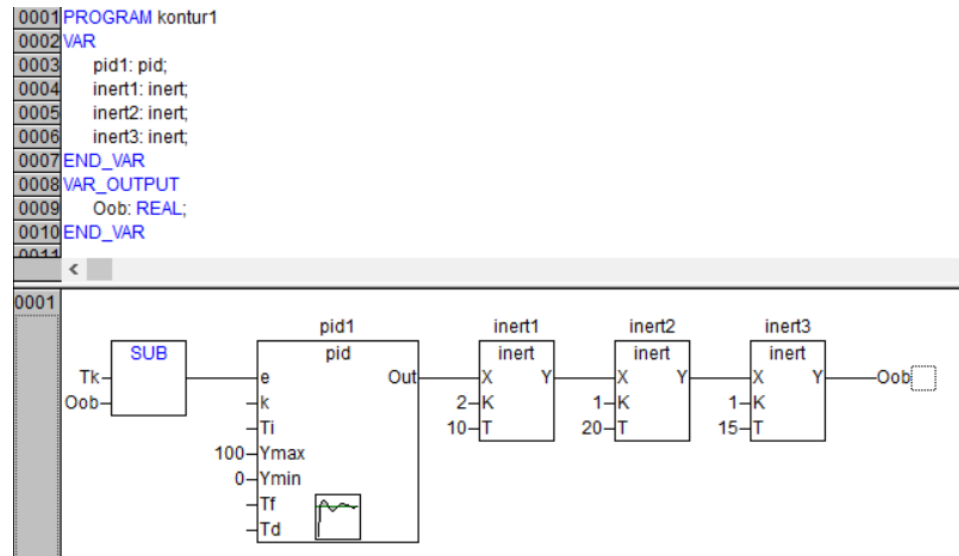


Рисунок 31 – замкнутая система с ПИД регулятором.

Настройка ПИД регулятора производится по переходному процессу внутри камеры. Алгоритмы настройки:

1. Получить переходный процесс и самую медленную постоянную времени (наибольшее значение T)
2. Взять инерционное звено с постоянной времени в 10 раз медленнее.
3. Настроить регулятор на модульный оптимум.

Для получения качественных переходных процессов нам потребуется реализовать широтно-импульсное моделирование [7]. Реализуем широтно-импульсное моделирование (ШИМ) в виде кода (рисунок 32).

```

1.  FUNCTION_BLOCK pwm
2.  VAR_INPUT
3.      T: REAL;
4.      x1: REAL;
5.      x2: REAL;
6.      x3: REAL;
7.      x4: REAL;
8.  END_VAR
9.  VAR_OUTPUT
10.     y: REAL;
11.     y1: REAL;
12.     y2: REAL;
13.     y3: REAL;
14.     y4: REAL;
15. END_VAR
16. VAR
17.     yo: REAL;
18. END_VAR
19.     y := yo + 100*tds/T;
20. IF y > 100 THEN y:=0; END_IF
21. yo:=y;
22. IF x1>y THEN y1:=1; ELSE y1:=0; END_IF
23. IF x2>y THEN y2:=1; ELSE y2:=0; END_IF
24. IF x3>y THEN y3:=1; ELSE y3:=0; END_IF
25. IF x4>y THEN y4:=1; ELSE y4:=0; END_IF

```

Рисунок 32 – реализация ШИМ.

ШИМ реализуется за счет генератора пилообразных сигналов. Принцип действия: выходной сигнал сравнивается с входным, и чем больше величина аналогового сигнала, тем шире пульсация. На рисунке 33 показан принцип работы ШИМ.

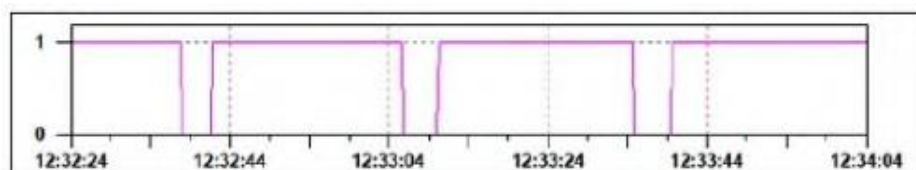


Рисунок 33 – принцип работы широтно-импульсного моделирования.

Для контроля процесса сушки, создадим НМІ панель, на которой будут отображаться показания датчиков. Также добавим на нашу панель индикацию, отвечающую за контроль температуры внутри камеры.

Для начала создадим переменные и условия (рисунок 34).

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     tVent: REAL; (* температура вентилятора*)
0004     tVentV: BOOL; (*выходная величина температуры вентилятора*)
0005     tKa1: REAL; (*температура калорифера на стороне давления*)
0006     tKaK1: BOOL; (*выходная температура калорифера на стороне давления*)
0007     tKa2: REAL; (*температура калорифера на стороне разряжения*)
0008     tKaK2: BOOL; (*выходная температура калорифера на стороне разряжения*)
0009 END_VAR
0010
0001 tVentV:=tVent > tVentZad;
0002 tKaK1:=tKa1>tKaZad1;
0003 tKaK2:=tKa2>tKaZad2;
0004

```

Рисунок 34 – создание переменных и запись условия.

Далее создадим необходимые нам элементы на HMI панели, и присвоим переменные нужным элементам. Готовая панель представлена на рисунке 35.

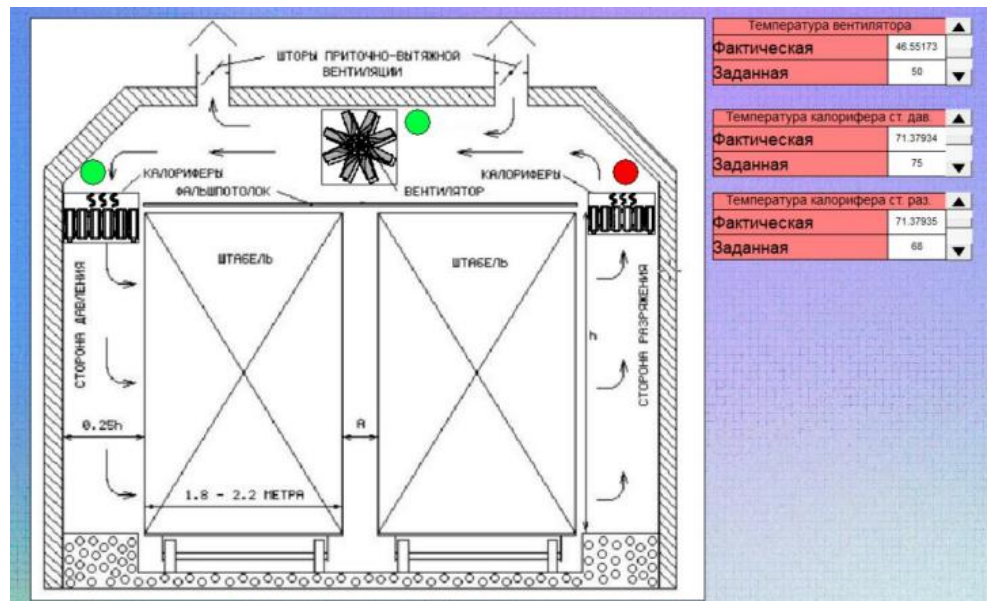


Рисунок 35 – HMI панель процесса сушки пиломатериалов.

Особенностью каждого этапа сушки, является время переходного процесса. Так как температура изменяется не мгновенно, переходные процессы длятся от 4 до 12 часов. На рисунке 36 приведен переходный процесс на одном из этапов сушки.

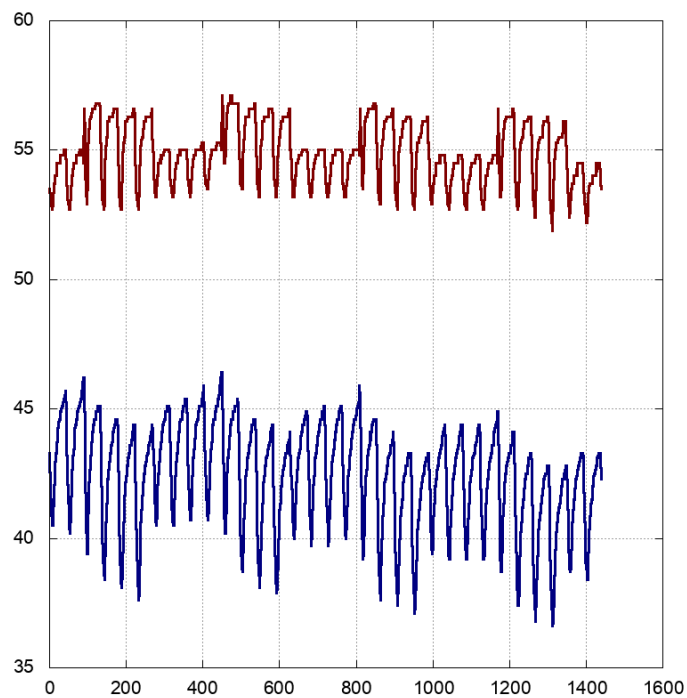


Рисунок 36 – переходный процесс температуры.

На рисунке 37 показан последний этап сушки.

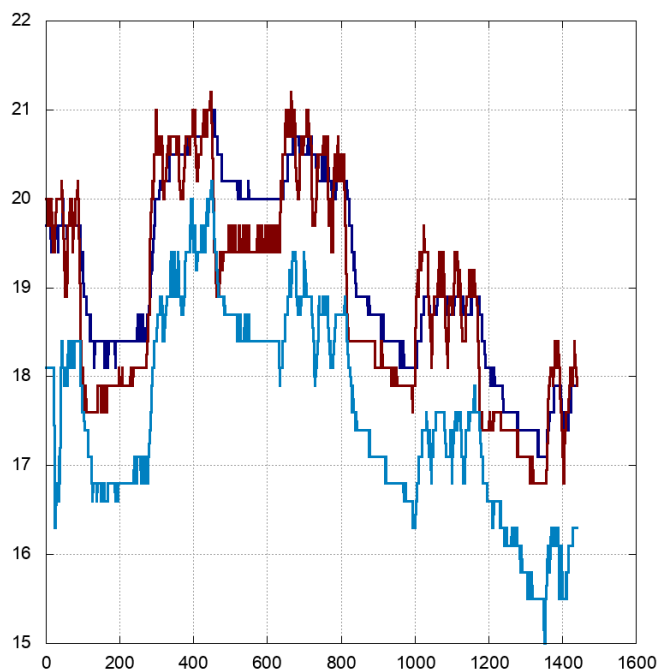


Рисунок 37 – последний этап сушки.

5. КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА

Предлагаемое решение представляет программируемый логический контроллер.

Предлагаемый контроллер предназначен для реализации автоматического управления процесса сушки пиломатериалов, а именно управления приводами заслонок.

Конструктивно разработанный объект представляет собой пластиковый корпус контроллера, соединяемый на винты, на лицевой панели которого располагается НМІ панель, а также внутренние части (материнская плата, процессор, оперативная память, коммуникационные интерфейсы, беспроводные протоколы, дискретные и аналоговые входа и выхода).

5.1 ОПИСАНИЕ ПРОДУКТА КАК РЕЗУЛЬТАТА НИР

Проектирование и производство ПЛК в России развивается быстрыми темпами. Связано это с тем, что в последнее время из РФ ушли многие иностранные поставщики данного оборудования, что послужило толчком к массовому созданию отечественного продукта.

Так как в производстве или в строительстве нередко требуются пиломатериалы, предлагаемый программируемый логический контроллер предоставит быструю и качественную сушку древесины. При использовании в процессе сушки системы автоматического управления, основанного на управлении заслонками в нашей системе, мы значительно сокращаем срок сушки, а также гарантируем высокое качество готового материала.

Предлагаемое оборудование позволит управлять нужной температурой и влажностью путем открывания и закрытия заслонок. Для реализации качественной сушки пиломатериала требуется сушить древесину в несколько ступеней со своими внешними и внутренними параметрами (температура и влажность внутри камеры, влажность древесины). ПЛК реализует написанный нами программный код и по заданному алгоритму открывает или закрывает выпускные заслонки (управление температурой и влажностью), а также

открывает и закрывает заслонку на твердотопливный котел (управление температурой камеры).

Уникальность данного решения заключается в том, что устройство постоянно отслеживает состояние пиломатериала в камере (за счёт установленных датчиков), а также позволяет выполнять четко запланированный алгоритм сушки. В случае аварии (не предвиденные обстоятельства), например выхода из строя какого-либо оборудования, данный контроллер способен своевременно среагировать на это и предотвратить порчу пиломатериала внутри камеры.

К главным достоинствам аппарата относятся: высокое качество пиломатериала на выходе процесса сушки, более быстрые сроки сушки (по сравнению с естественной сушкой или полуавтоматической, демократическая цена аппарата в сравнении с другим оборудованием на рынке, поддержка CodeSys для осуществления программирования контроллера. В контроллере реализована защита от “зависания”, что говорит о том, что контроллер не выйдет из строя в непредвиденных ситуациях. Невысокая стоимость позволит окупить контроллер в кратчайшие сроки. Гарантированный результат на основе проведенных испытаний.

Промышленный дизайн данного объекта позволяет решить проблему транспортировки аппарата путем проектирования портативной конструкции и эргономики эксплуатации.

Оборудование предполагается использовать в сфере деревообработки, а именно на фабриках и предприятиях, основанных на обработке и сушке пиломатериалов.

Готовый продукт будет отвечать следующим требованиям:

1. Автоматическая сушка пиломатериалов позволит ускорить процесс получения готовый (высушенной) древесины.
2. По окончании процесса сушки получаем качественный продукт без дефектов и трещин;
3. Доступная стоимость прибора;

4. Простое управление интерфейсом с помощью кнопок и отслеживание параметров внутри камеры;
5. Небольшие габариты и вес аппарата;
6. Портативность прибора;
7. Высокий уровень безопасности аппарата и защита от “зависания”.

5.2 ЦЕЛЕВЫЕ СЕГМЕНТЫ

Первым этапом запуска любого бизнеса является определение целевой аудитории – конкретной группы людей, на которую направляются маркетинговые коммуникации компании. К целевой аудитории относятся не только существующие покупатели предлагаемого продукта, но и потенциальные потребители, которых необходимо привлекать, чтобы занять стабильное положение в отрасли.

Наличие целевой аудитории позволяет создать идеальный продукт, продать в нужном месте, используя правильные средства коммуникации. Для определенного целевого сегмента потребителей свойственны признаки и характеристики, которые являются общими для каждого его представителя.

Для определения целевой аудитории происходит объединение потребителей по конкретным критериям (например, географический, социально-демографический, психо-графический, поведенческий).

Целевой аудиторией программируемого логического контроллера является B2B рынок, а именно деревообрабатывающие предприятия.

Проект настроен на рынок сибирского округа. В перспективе развития продукта рассматривается вариант выхода на всероссийский рынок деревообрабатывающего предприятия.

5.3 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

Рынок программируемых логических контроллеров включает в себя контроллеры широкого назначения, которые могут использоваться в любых целях, в зависимости от тактовой частоты процессора и количества аналоговых и дискретных входов и выходов. Разрабатываемый контроллер предназначен

специально для автоматизации сушки пиломатериалов и затрагивает деревообрабатывающие и строительные предприятия.

Для продвижения контроллера был выбран Сибирский округ, с последующим выходом на всероссийский рынок.

Если рассматривать всероссийский рынок программируемых логических контроллеров можно сказать, что в целом, данный рынок захватили преимущественно Московские производители контроллеров такие как “Beckhoff” и “ОВЕН”.

Объем производства программируемых логических контроллеров в России в 2018 г. составил 36 858 шт. В 2017 г. этот показатель равнялся 36 375 шт. Наибольший объем программируемых логических контроллеров в 2018 г. производился в Москве. Основными производителями программируемых логических контроллеров в натуральном выражении являются ПО ОВЕН и ЗАО ТЕКОНГРУП.

Объем импорта программируемых логических контроллеров в Россию в 2022 г. составил 40 555 шт. Темп прироста был равен – 4,8%. В 2021 г. объем импорта составил 42 599 шт. ПЛК компактного исполнения наиболее популярны среди программируемых логических контроллеров. ПЛК FIELDBUS заняли долю 8,27% натурального объема импорта. Крупнейшим импортером программируемых логических контроллеров в Россию в 2021 г. являлся SIEMENS AG. Крупнейшим импортером ПЛК FIELDBUS в 2020 г. являлся CAREL INDUSTRIES S.P.A. Крупнейшим покупателем импортером программируемых логических контроллеров в 2021 г. являлся ООО СИМЕНС.

Объем экспорта программируемых логических контроллеров из России в 2022 г. составил 417 шт. Темп прироста был равен – 15,6%. В 2021 г. объем экспорта составил 494 шт. ПЛК FIELDBUS не экспортировались из России в 2012-2018 гг. В 2022 г. вывозимыми программируемыми логическими котроллерами являлись ПЛК с памятью. В экспорте программируемых логических контроллеров из России в 2018 г. наибольший объем экспорта пришелся на компанию ООО ЗАВОД №423.

На данный момент в связи с санкциями на территории РФ практически отсутствует импорт контроллеров, что стало толчком к разработке и развитию отечественных контроллеров.

На уровень цен контроллеров влияет набор программ и количество входов/выходов. С ростом мощности контроллера растёт его цена. Причем при переходе разница по цене между различными классами контроллеров очень значительна.

5.4 ОБЪЕМ И ЕМКОСТЬ РЫНКА

Емкость рынка – это показатель, необходимый для принятия управленческих решений и прогнозирования деятельности компании. Он определяет уровень спроса на продукты. В количественном выражении емкость рынка представляет собой общий объем реализованной продукции.

Емкость рынка для данного оборудования было решено рассчитывать из учета крупных деревообрабатывающих предприятий на территории Томской области. В расчет не будут браться мелкие предприятия или предприятия, на которых не используется полная автоматизация процесса сушки пиломатериалов.

В Томской области по статистике было зарегистрировано 3 крупных предприятий деревообрабатывающей промышленности, особенностью данных предприятий является то, что процесс сушки полностью автоматизированный. Также предприятия характеризуются большим объемом выпуска готовых пиломатериалов. По статистике за год перерабатывается более 2 724 100 м³ сырья. Из предположительного расчета необходимого количества аппаратов можно предположить, что на каждое предприятие необходимо не менее 8 контроллеров. Планируемая цена продажи аппарата предположительно будет составлять около 25 тыс. руб. Емкость рынка в этом случае составит 24 шт. аппаратов или 600 000 рублей.

В сибирском федеральном округе насчитывается не менее 52 деревообрабатывающих предприятий. Емкость рынка в этом случае составит 416 шт. аппаратов или 10 400 000 рублей.

При дальнейшем выходе на рынок по всей России емкость рынка увеличиться в разы (таблица 5).

Таблица 5 – Емкость рынка

Показатели	Томская область	Сибирский федеральный округ	РФ
Емкость рынка, шт.	3	52	384
Емкость рынка, руб.	600 000	10 400 000	76 800 000

При захвате 10% рынка по всей России потребуется выпускать 307 устройств в год. Таким образом, зная примерную себестоимость устройства (3.2 тыс. руб.) и его итоговую цену (25 тыс. руб.) определяем объем и ёмкость рынка создаваемого продукта.

Ёмкость рынка = 76,8 млн. руб.

5.5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

Единовременными первоначальными затратами на создание продукта будут являться:

1. затраты на закупку компьютера для автоматизации процесса и работы над сортировкой заказов;
2. затраты на паяльную станцию для сборки электроники;
3. затраты на инструменты;
4. затраты на принтер с плоттером для печати инструкций и руководств пользования;
5. затраты на патентование.

Затраты на оборудование представлены в таблице 11

Таблица 11 – Затраты на оборудование

	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Стоимость за шт. (без НДС),	Итого стоимость (без НДС),	НДС (20%),	Итого стоимость (с НДС 20%),	Срок полезного использования,
			тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	лет
1	ПК ASUS ExpertCenter D5 SFF D500SC	2	46 250,00	92 500,00	18 500,00	111 000,00	5
2	Принтер	1	58 333,33	58 333,33	11 666,67	70 000,00	5
3	Зажимные приспособления (тиски)	2	4 166,67	8 333,33	1 666,67	10 000,00	5
4	Паяльная станция	2	2 400,00	4 800,00	960,00	5 760,00	5
	Итого		111 150,00	163 966,67	32 793,33	196 760,00	

Операционные затраты, связанные с реализацией проекта, будут состоять из материальных затрат, затрат на оплату труда, амортизации и прочих накладных затрат.

Материальные затраты рассчитываются исходя из предполагаемых объемов производства. Предположительный объем выпуска ПЛК в год составляет 416 штук. То есть в месяц должно производиться не менее 35 контроллеров. Сборка контроллера осуществляется из заранее закупленных электронных комплектующих, таких как микропроцессор, корпус и периферия.

Расчеты затрат на закупку комплектующих представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на комплектующие

Наименование	Количество для одного аппарата, шт.	Количество для партии в 100 шт., шт.	Цена на один аппарат, руб.	Стоимость для партии в 100 шт., руб.
Корпус аппарата	1	35	227	7 945
Микросхема	1	35	1 420	49 700
Модули расширения	1	35	1 524	53 340
Винты для сборки	4	140	320	44 800
Бумага для печати инструкций, 500 листов	1	10	489	4 890
Картон для упаковки	1	100	269	26 900
Пенопласт, 200 л	1	10	715	7 150
Прочие затраты	-	-	1 000	10 000
Итого			5 964	204 725

Корпус устройства пластиковый, разборный и состоит из двух частей: верхняя часть корпуса, крепится на винты к нижней части, которая в свою очередь имеет отверстия для поступления воздуха, а также вывод под внешние интерфейсы, питание, а также аналоговые и дискретные входа и выхода. В нижней части корпуса расположен зажим для крепления на DIN-рейку. Внутри корпуса расположено место под микросхему.



Рисунок 38 – Корпус ПЛК.

В качестве микросхемы была выбрана плата STM32. Которая состоит из материнской платы, микропроцессора. Системы защиты, внешнего интерфейса, а также аналоговых и дискретных входов и выходов.

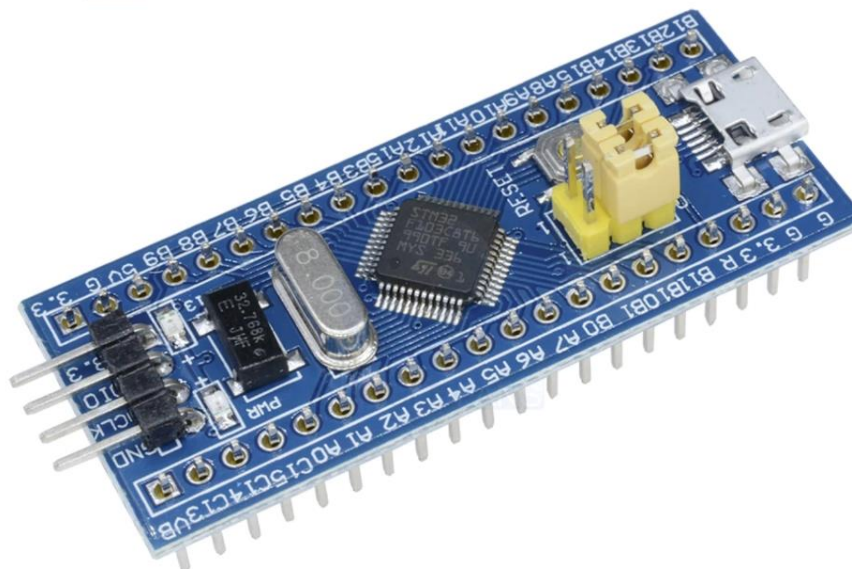


Рисунок 39 – Микросхема контроллера.

Модули расширения требуются для того, чтобы расширить количество аналоговых и дискретных входов и выходов. Представляют собой пластиковый корпус с платой которая электрически соединяется с микросхемой контроллера.



Рисунок 40 – Модули расширения ПЛК.

Итого материальные затраты на один укомплектованный аппарат составят примерно 3 171 руб., а стоимость серии из 35 штук 110 985 руб.

Для оценки трудовых затрат на создание продукта необходимо проанализировать производственный цикл предприятия с целью планирования численности персонала. Производственный цикл продукта будет начинаться с заказа пластиковых корпусов у посредника (завод поставщиков радиоэлектронной аппаратуры GAINTA, г. Санкт-Петербург), который будет производить отливку материала (литьевой полимер) в силиконовые формы и последующую механическую обработку, шлифовку и покраску частей корпуса. Далее будет происходить транспортировка и сборка электронных и пневматических блоков аппарата, а после его монтаж в корпус и полная сборка устройства, далее необходимо произвести проверку оборудования и его упаковку. Весь производственный цикл можно увидеть на рисунке 77.

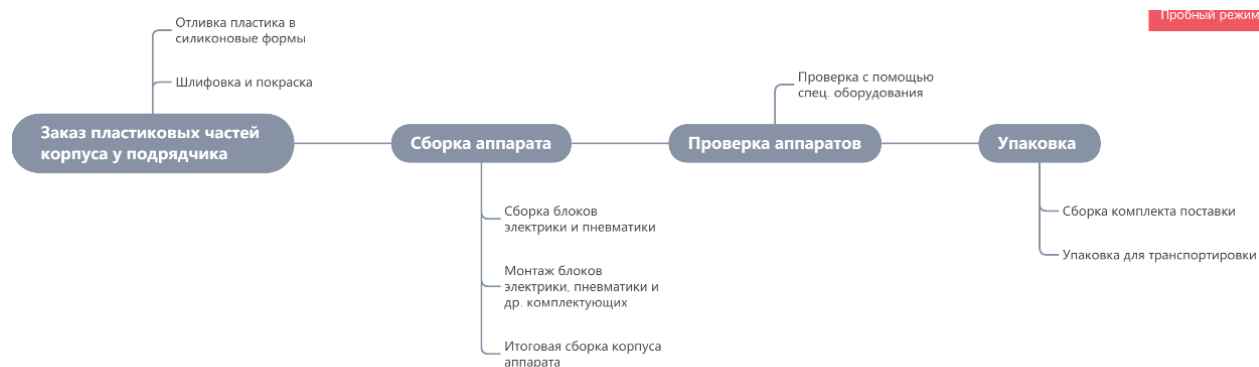


Рисунок 41 – Производственный цикл

Для сборки аппаратов планируется привлекать работников в количестве 4 людей. В месяц один работник будет производить приблизительно 9 аппаратов.

К производственному персоналу будут относиться: инженер конструктор, программист, упаковщик, и человек ответственный за контроль. Оценка затрат на заработную плату рабочим, специалистам и административно-управленческому персоналу представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Расчёт затрат на заработную плату персонала

Персонал	Кол-во, чел.	Оклад, руб.	Сумма затрат на з/п, руб.	Отчисления в соц. Фонды 30%, руб.
Производственный персонал				
Инженер-конструктор	2	60 000	120 000	36 000
Контроль качества	1	40 000	40 000	12 000
Упаковка	1	40 000	40 000	12 000
Программист	2	70 000	140 000	42 000
Управленческий персонал				
Директор	1	75 000	75 000	22 500
Секретарь	0	0	0	0
Менеджер по продажам	1	45 000	45 000	13 500
Уборщица	1	25 000	25 000	7 500
Итого	11	-	485 000	145 500
Итого	630 500			

Амортизация оборудования составит 8 198 руб. в квартал, исходя из первоначальной стоимости оборудования и срока полезного использования. Постоянные накладные затраты составят в месяц 223 000 рублей (Таблица 13).

Таблица 13 – Накладные постоянные затраты

Наименование	Итого в месяц, руб
Аренда помещения	40 000
Охранная организация	15 000
Командировочные (директор + торговый представитель)	80 000
Бухгалтерские услуги	30 000
Прочие затраты (коммунальные услуги)	10 000
Транспортировка комплектующих	10 000
Транспортировка до клиентов	38 000
Итого	223 000

5.6 КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СОЗДАВАЕМОГО ПРОДУКТА

Анализ отечественного рынка показал, что объектов аналогов не так много, всего одна организация ООО «УНЛ ИТА». Данная организация предоставляет свое устройство и свою программу для процесса сушки.

Преимуществами данной организации:

- 1) грамотно написанный программный код;
- 2) известность в сибирском округе.

Конкурентными преимуществами разрабатываемого аппарата являются:

- 1) цена;
- 2) высокий спрос;
- 3) большая область применения устройства;
- 4) более новое программное обеспечение;
- 5) более тонкие настройки процесса сушки.

Сравнительные характеристики устройств представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Анализ продуктов аналогов

Критерий	ПЛК “УНЛ ИТА”	Разработанный аппарат
Цена	80 000 руб.	60 000 руб.
Программное обеспечение	Устаревшее, на старой операционной системе	Обновленное, подходит под все новейшие ОС
Настройка процесса сушки	Ограниченное число настроек, менее точное регулирование	Обширный спектр настроек, более точное регулирование процесса

Планируемая цена продажи (включая НДС 20%) укомплектованного аппарата составляет 60000 рублей, исходя из анализа рынка и оценки конкурентов.

План доходов и расходов, а также расчет прибыли представлен в таблице 15, а расчет денежных потоков представлен в таблице 16. Таким образом, по результатам расчётов срок окупаемости нашего проекта составит 2 квартала (6 месяцев). Чистый дисконтированный доход за 6 месяцев составит 534 524 рублей.

Таблица 13 – Расчет прибыли предприятия

№	Показатель	Ед. измерения	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Выручка без НДС	руб.	2 291 667	3 208 333	4 125 000	4 812 500	4 812 500	4 812 500	4 812 500	4 812 500
2	Переменные (прямые) расходы, в т.ч.	руб.	-298 200	-417 480	-536 760	-626 220	-626 220	-626 220	-626 220	-626 220
2.1	материалы (переменные)	руб.	-298 200	-417 480	-536 760	-626 220	-626 220	-626 220	-626 220	-626 220
3	Маржинальная прибыль		1 993 467	2 790 853	3 588 240	4 186 280	4 186 280	4 186 280	4 186 280	4 186 280
4	Постоянные (накладные) расходы без учета амортизации, в т.ч.	руб.	-2 114 500	-2 114 500	-2 114 500	-2 114 500	-2 114 500	-2 114 500	-2 114 500	-2 114 500
4.1	аренда помещения		-40 000	-40 000	-40 000	-40 000	-40 000	-40 000	-40 000	-40 000
4.2	прочие накладные		-183 000	-183 000	-183 000	-183 000	-183 000	-183 000	-183 000	-183 000
4.3	заработная плата	руб.	-1 455 000	-1 455 000	-1 455 000	-1 455 000	-1 455 000	-1 455 000	-1 455 000	-1 455 000
4.4	отчисления		-436 500	-436 500	-436 500	-436 500	-436 500	-436 500	-436 500	-436 500
5	EBITDA	руб.	-121 033	676 353	1 473 740	2 071 780	2 071 780	2 071 780	2 071 780	2 071 780
6	Амортизация новых основных средств (инвестиции)	руб.	-8 198	-8 198	-8 198	-8 198	-8 198	-8 198	-8 198	-8 198
7	Прибыль до налогообложения	руб.	-129 232	668 155	1 465 542	2 063 582	2 063 582	2 063 582	2 063 582	2 063 582
8	Налог на прибыль (ставка 20%)	руб.	25 846	-133 631	- 293 108	- 412 716	- 412 716	- 412 716	- 412 716	-412 716
9	ЧИСТАЯ ПРИБЫЛЬ проекта	руб.	-103 385	534 524	1 172 433	1 650 865	1 650 865	1 650 865	1 650 865	1 650 865

Таблица 14 – Расчет показателей эффективности проекта

[illegible]

Продолжение таблицы 14

2	ДЕНЕЖНЫЙ ПОТОК ПО ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (IC), в т.ч.	руб.	-481 089								
2.1	Инвестиционные затраты без НДС	руб.	-481 089								
3	СВОБОДНЫЙ ДЕНЕЖНЫЙ ПОТОК (FCF)	руб.	-481 089	-95 187	542 722	1 180 632	1 659 064	1 659 064	1 659 064	1 659 064	1 659 064
4	Свободный денежный поток нарастающим итогом (FCF)	руб.	-481 089	-576 276	-33 553	1 147 078	2 806 142	4 465 206	6 124 269	7 783 333	9 442 397
5	Ставка дисконтирования	руб.	4%								
6	Коэффициент дисконтирования	руб.		0,964	0,929	0,895	0,863	0,832	0,802	0,773	0,745
9.	Дисконтированный денежный поток от операционной деятельности	руб.		- 91 747	504 198	1 057 183	1 431 893	1 380 138	1 330 254	1 282 172	1 235 829
10	Дисконтированный свободный денежный поток нарастающим итогом	руб.	-481 089	- 572 835	- 68 637	988 546	2 420 439	3 800 577	5 130 831	6 413 003	7 648 831
11	ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ										2 063 582
11.1	NPV		2 420 439								-412 716
11.2	Период окупаемости		2,06								
11.3	Дисконтированный период окупаемости		2,14								
12	PI		19,4	-103 385	534 524	1 172 433	1 650 865	1 650 865	1 650 865	1 650 865	1 650 865

5.7 БИЗНЕС-МОДЕЛЬ ПРОЕКТА

Бизнес-модель проекта по Остервальдеру представлена в таблице 16. Ценностное предложение стартапа заключается в следующем:

Таблица 16 – Бизнес-модель проекта по А.Остервальдеру и И.Пинье

<i>Ключевые партнеры</i> 1) Партнеры, являющиеся поставщиками материалов для разработки физической формы устройства	<i>Ключевые виды деятельности</i> Производство программируемого логического контроллера	<i>Ценностные предложения</i> 1) цена 2) сокращение расходов 3) решенная задача 4) новизна 5) удобство пользования 6) надежность	<i>Взаимоотношения с клиентами</i> 1) Постоянная техническая и консультационная поддержка клиентов; 2) Обратная связь;	<i>Потребительские сегменты</i> 1)деревообрабатывающая промышленность
	<i>Ключевые ресурсы</i> 1) интеллектуальные (бренд, запатентованная технология) 2) комплектующие 3) трудовые ресурсы (команда)		<i>Каналы сбыта</i> 1) Пробное внедрение с последующей доработкой 2) Продажи через Интернет–платформы и социальные сети	
<i>Структура издержек</i> 1) Фиксированные издержки – оборудование 2) Переменные издержки –. заработная плата работникам, налоги, материалы, комплектующие.			<i>Потоки поступления доходов</i> 1) Выручка от прямых продаж	

5.8 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Патент – это документ установленного образца, выдаваемый государственным патентным органом (в России структура Роспатента – ФИПС) и удостоверяющий исключительное право и право авторства в отношении технического устройства или художественно-конструкторского решения, подтверждающий исключительные права патентообладателя на объект интеллектуальной собственности [69].

Патентами охраняются различные открытия и достижения в области науки и техники. В статье 1345 ГК РФ под патентными правами понимаются интеллектуальные права на изобретения, полезные модели и промышленные образцы [70].

Патент — это не только способ правовой охраны результатов интеллектуальной деятельности, но и коммерческая выгода. Обладатель патента получает существенное преимущество перед конкурентами — единолично распоряжаться и получать прибыль от использования своей разработки. Патент также защищает от незаконных притязаний третьих лиц, создавших аналог, исключая риск получения иска о взыскании компенсации до 5 млн. рублей [71].

Программируемый логический контроллер в качестве полезной модели. Объектами защиты в данном случае будут являться:

- 1) техническое решение;
- 2) программное обеспечение.

5.9 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», «industryhunter.com», «element14», «Компоненты и технологии».

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Характер труда, организация рабочего места и наличие опасных и вредных факторов в среде обитания человека определяют безопасность его жизнедеятельности. Соответственно, важным аспектом организации трудовой деятельности является ее социальная ответственность – ответственность за воздействие ее деятельности и принимаемых решений на общество и окружающую среду.

В данном разделе будут рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на инженера-проектировщика в учебном помещении, в котором производится разработка системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере, а также будет рассмотрена безопасность в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность.

Рассматриваемое рабочее место инженера-проектировщика находится в учебном помещении. Вся работа по проектированию производится на персональном компьютере. В процессе разработки инженер-проектировщик подвергается воздействию ряда различных факторов среды, которые влияют на его здоровье. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда. Условия труда характеризуются вредными и опасными факторами. Данные факторы могут рано или поздно привести к потере здоровья или к несчастному случаю. Поэтому главной целью улучшения условий труда является обеспечение безопасности труда, сохранение жизни и здоровья работающих, сокращение количества несчастных случаев и заболеваний.

6.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Права и обязанности, которые имеет работник, описаны в Трудовом кодексе РФ [8]. В нем содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска, защиту персональных данных работника и так далее. Согласно трудовому кодексу РФ, режим рабочего времени определяется с учётом особенностей проводимой работы. При этом труд работника должен оплачиваться согласно заключенному трудовому договору, но не ниже величины прожиточного минимума трудоспособного населения.

С целью идентификации вредных и опасных производственных факторов, оценки уровня их воздействия на работника и установления классов условий труда на рабочих местах обязательным является проведение специальной оценки условий труда в соответствии с Федеральным законом «О специальной оценке условий труда» (СОУТ) [9].

Важным аспектом являются организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны. Рабочее место для проведения проектных расчетов в лаборатории должно соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 [10] и обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя. Согласно ГОСТ 12.2.003-91 элементы конструкции оборудования, используемого на рабочем месте, не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих [11].

Перед началом работы в лаборатории сотрудники и студенты обязаны пройти инструктаж по технике безопасности и по пожарной безопасности. К выполнению работы в учебной лаборатории допускается лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование. Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников лаборатории согласно ГОСТ 12.0.004-2015 [12].

Рабочее место сотрудника лаборатории 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

6.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

6.2.1 АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

Вредные и опасные факторы, характерные для офисной рабочей среды, приведены в таблице 1 согласно классификации ГОСТ 12.0.003-2015 [13].

Таблица 1 – Опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека	ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
Нервно-психические перегрузки	МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
Производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

6.2.2 ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

6.2.2.1 НЕДОСТАТОК НЕОБХОДИМОГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения относятся к вредным производственным факторам, поскольку приводят к

снижению внимания и производительности рабочего и увеличению утомляемости, что в свою очередь может стать причинами несчастных случаев на производстве.

Минимальная освещенность на рабочих местах не должна отличаться от нормируемой средней освещенности в помещении более чем на 10% согласно СанПин 1.2.3685-21 [14]. Также освещение не должно создавать бликов на экране компьютера. Для исключения бликов отражения в экране светильников общего освещения рабочий стол с компьютером оператора следует размещать между рядами светильников. При этом светильники должны быть расположены параллельно горизонтальной линии взгляда работающего.

Таблица 2 - Требования к освещению помещений с рабочим местом оператора [14]

Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Искусственное освещение				
		Освещенность, лк			Объединён ный показатель диском- форта UGR, не более	Коэф- фициент пульса- ции Кп, % не более
		при комбинированно м освещении		при общем освещении		
		всего	от общего			
Г-0,8	А2	500	300	400	14	5
В-1,2	Б2	-	-	Не более 200	-	-

В производственных и административно-общественных помещениях в случае преимущественной работы с документами следует применять системы комбинированного освещения.

Для обеспечения указанной освещённости в качестве источников общего и местного освещения используют светодиодные лампы. Условия труда по фактору, связанному с отсутствием или недостатками необходимого искусственного освещения, соответствуют оптимальным (1 класс) согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ в 2022 году [15].

6.2.2.2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ, НЕИОНИЗИРУЮЩИМИ ТКАНИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

В связи с переходом электромагнитной энергии в теле человека в нетепловую форму энергии (молекулярное резонансное истощение, фитохимическая реакция и др.), при длительном воздействии ЭМП возникает расстройство центральной нервной системы, происходят сдвиги эндокринно-обменных процессов, изменения состава крови.

Электромагнитная обстановка в офисных зданиях характеризуется большим числом разнообразных источников электромагнитных полей разной интенсивности и широкого частотного диапазона. Монитор компьютера создает излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Кроме того, образуются электрические и магнитные поля промышленной частоты 50 Гц от кабелей электропитания и систем освещения, а также электромагнитные поля радиочастотных диапазонов 10-30 кГц и 30 кГц-300 МГц от схем управления светодиодными источниками освещения рабочих мест и от сетевых.

Согласно ГОСТ Р 50948-2001, напряженность электрической составляющей электромагнитного поля в точке, расположенной по нормали к центру экрана на расстоянии 40 см от центра клавиатуры не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, и 2,5 В/м – в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл – в диапазоне от 2 до 400 кГц [16].

К основным методам защиты персонала от ЭМП относятся следующие:

- ограничение времени нахождения работающих в ЭМП;
- рациональное размещение оборудования (защита расстоянием);
- использование отражающих и поглощающих экранов, которые должны быть заземлены для обеспечения стекания зарядов;
- применение средств индивидуальной защиты (специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, и защитные очки).

6.2.2.3 НЕРВНО-ПСИХИЧЕСКИЕ ПЕРЕГРУЗКИ

Нервно-психические перегрузки являются следствием информационного взаимодействия в системе «пользователь - ПК». Они обусловлены несогласованностью параметров информационных технологий с психофизиологическими возможностями человека, необходимостью постоянного наблюдения за информационными символами и быстрого анализа динамично меняющейся информации.

К основным нервно-психическим перегрузкам оператора ПК, относятся: повышенные зрительные напряжения; умственные и нервно-эмоциональные перегрузки; монотонность труда.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека.

В процессе работы для уменьшения отрицательного влияния монотонности рекомендуется менять вид работы, например чередовать ввод данных и редактирование, считывание информации и ее осмысление.

Согласно МР 2.2.9.2311-07 [17] в целях снижения нервного напряжения, утомления зрительной и опорно-двигательной систем оператора рекомендуется следующий режим его работы.

Таблица 3 – Суммарное время регламентированных перерывов [17]

Вид работы	Уровень нагрузки			Суммарное время перерывов, мин.	
	группа А (считывание информации), кол-во знаков	группа Б (ввод информации), кол-во знаков	группа В (творческая работа в режиме диалога), ч	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Не рекомендуется работать на ПК более 2 часов подряд без перерыва, поэтому суммарное время перерыва следует равномерно распределить в течение рабочего дня.

Условия труда по фактору, связанному неионизирующим излучением, соответствуют допустимым (2 класс) согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ в 2022 году [15].

6.2.2.4 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С АНОМАЛЬНЫМИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется сочетанием температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Различают холодный и теплый периоды года, со среднесуточной температурой ниже +10 °С и выше +10 °С соответственно.

Работа, связанная с проектированием релейной защиты, относится к легкой категории Ib по энергетическим затратам организма (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением). Оптимальные показатели микроклиматических условий для данной категории работ согласно ГОСТ 12.1.005-88 [18] приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Нормируемые показатели параметров микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Легкая Iб	21 – 23	20 – 24	40 – 60	75	0,1	менее 0,2
Теплый		22 – 24	21 – 28	40 – 60	60	0,2	0,1 – 0,3

Для поддержания оптимальной температуры воздуха в холодный период года применяется система центральной водяного отопления. Для поддержания необходимой температуры в тёплый период года используют системы кондиционирования и приточно-вытяжной вентиляции, а место забора свежего воздуха устанавливают с наветренной стороны зданий.

Благодаря соблюдению данных мер условия труда по фактору, связанному с микроклиматическими параметрами, соответствуют оптимальным согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ [15].

6.2.2.5 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического, электролитического, биологического и механического воздействий, что приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местные повреждения тканей и органов, так и общее его поражение.

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) лабораторные помещения по степени опасности поражения электрическим током относятся к классу помещений без повышенной опасности, поскольку в этих помещениях влажность воздуха не превышает 75%; температура окружающей среды не превышает 35°C; отсутствует токопроводящая пыль и токопроводящие полы; отсутствует возможность одновременного касания проводящих конструкций здания, аппарата, механизма соединенных с землей

и проводящих частей электрооборудования [19].

Причины поражения электрическим током при работе с используемым в работе электрооборудованием включают в себя:

- случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением в результате;
- появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования в результате повреждения изоляции;
- возникновение напряжения шага на участке земли, где находится человек, в результате: замыкания фазы на землю, выноса потенциала протяженным токопроводящим предметом, неисправности в устройстве защитного заземления.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [20], для обеспечения электробезопасности защита при повреждении должна состоять из одного или нескольких способов и средств основной защиты (основная изоляция) и технических способов и средств, применяемых дополнительно к ним (автоматическое отключение питания и непроводящая окружающая среда).

Благодаря соблюдению защитных мер условия труда по фактору, связанному с электрическим током, соответствуют допустимым (2 класс) согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ в 2022 году [14].

6.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

6.3.1 АТМОСФЕРА

В процессе генерации на тепловой электростанции электроэнергии, необходимой для питания компьютеров и других электронных устройств, образуются окислы азота, серы и углерода. Особенно опасны окислы азота, обладающие свойством канцерогенности, сернистый ангидрид, диоксид серы и оксиды азота, поскольку они переносятся на большие расстояния и осаждаются, в частности, с осадками на поверхность земли, загрязняя гидросферу и литосферу.

Цель защиты атмосферы от вредных выбросов сводится к обеспечению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое атмосферы, равных или менее ПДК. Это достигается применением следующих методов и средств:

- снижением объема эмиссии загрязняющих веществ в результате технологических решений;
- рациональным размещением источников вредных выбросов по отношению к населенным зонам и рабочим местам;
- рассеиванием вредных веществ в атмосфере для снижения концентраций в ее приземном слое;
- удалением вредных выделений от источника образования посредством местной или общеобменной вытяжной вентиляции;
- применением средств очистки воздуха от вредных веществ;
- применением средств индивидуальной защиты.

Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе на уровне не более 1 доли ПДК [14].

6.3.2 ЛИТОСФЕРА

Возникающие в процессе работы проектировщика твердые бытовые отходы (такие как бумага, оргтехника, светильники) идут на хранение и утилизацию на специальных мусорных полигонах согласно Федеральному закону "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ и Федеральному закону "О драгоценных металлах и драгоценных камнях" от 26.03.1998 N 41-ФЗ. Люминесцентные лампы сдаются районные ДЕЗ или РЭУ, которые в дальнейшем утилизируют их. Современная вычислительная техника содержит не только ценные материалы (золото, серебро, редкие металлы), но и много токсичных веществ, например тяжелых металлов. Эти вещества поражают нервную систему человека, а также вызывают химические ожоги слизистых оболочек и кожных покровов. Поэтому микропроцессорная техника, на основе которой выполнена защита, требует специальных мер по

утилизации [21]. В данный комплекс мероприятий входят: отделение металлических частей от неметаллических, отправка металлических компонентов на переплавку, переработка пластиковых и других неметаллических компонентов прибора.

6.3.2 ГИДРОСФЕРА

Водоемы загрязняются поверхностными стоками (смывы с земной поверхности) и сточными водами. Жизнедеятельность человека связана с бытовыми сточными водами от санитарных узлов производственных и непроизводственных корпусов и зданий, душевых установок и так далее.

Для защиты гидросферы от вредных сбросов применяются следующие методы и средства:

- рациональное размещение источников сбросов и организация водозабора и водоотвода;
- разбавление вредных веществ в водоемах до допустимых концентраций;
- использование средств очистки стоков.

Места аккумуляции коммунальных и бытовых отходов могут быть источниками загрязнения подземных вод. В связи с этим при организации и устройстве аккумулирующих емкостей для отходов промышленного производства и коммунального хозяйства необходимо соблюдать требования ГОСТ 17.1.3.06-82 [22].

.6.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте относятся пожар, взрыв вследствие террористического акта, а также эпидемия. С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара.

Источниками воспламенения в производственных помещениях с ПК могут быть: искра при разряде статического электричества; искры от электрооборудования; искры от удара и трения; открытое пламя.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещение лаборатории относится к категории В1–В4 (пожароопасность), поскольку в данном помещении находятся горючие и трудногорючие вещества и материалы (древесина, фанера, картон, бумага, пластмассы и так далее). Ввиду наличия данных веществ и материалов пожароопасные зоны относятся к классу П-Па и требуют применения пожарозащищенного электрооборудования согласно ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [23].

Поэтому при работе с ПК на рабочем месте запрещается:

- эксплуатировать электропровода и кабели с видимыми нарушениями изоляции и со следами термического воздействия;
- пользоваться розетками и другими электроустановочными изделиями с повреждениями;
- использовать нестандартные (самодельные) удлинители и электронагревательные приборы;
- оставлять без присмотра включенными в электрическую сеть электроприборы, в том числе находящиеся в режиме ожидания.

При обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении, на территории (задымление, запах гари, повышение температуры воздуха) персоналу необходимо:

- немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану с указанием наименования объекта защиты, адреса места его расположения, места возникновения пожара, а также фамилии сообщаемого информацию;
- принять меры по эвакуации людей, а при условии отсутствия угрозы жизни и здоровью - меры по тушению пожара в начальной стадии [23].

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

В ходе проведённого анализа потенциальных вредных и опасных производственных факторов, экологической безопасности и безопасности при чрезвычайных ситуациях установлено, что на рабочем месте:

1. условия труда соответствуют допустимым (2 класс) согласно Федеральному закону «О специальной оценке условий труда»;
2. проводимые работы относятся к категории тяжести труда Ib (легкая) согласно СанПиН 1.2.3685-21;
3. помещения по электробезопасности соответствуют 1 классу (помещения без повышенной опасности) согласно ПУЭ;
4. персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок;
5. работа проектировщика релейной защиты с использованием ПЭВМ несмотря на меньшие потребности в бумажных носителях, оказывает влияние на окружающую среду;
6. по пожарной опасности помещения относятся к категории В1–В4 (пожароопасность), пожароопасные зоны относятся к классу П-Па, возможны классы пожаров А и Е согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
7. помещения оснащены необходимыми средствами пожарной безопасности согласно ГОСТ 12.4.009-83.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была рассмотрена тема разработки системы управления электроприводами камеры сушки пиломатериалов на программируемом логическом контроллере.

Тема процесса сушки была раскрыта в нужной мере, а также был сделан вывод, о том, что автоматизированный процесс сушки является наиболее эффективным. Были приведены технологические карты и рассмотрено электрооборудование, требуемое для реализации данного процесса.

Выбор электрического оборудования основывался исходя из технического задания, в котором были даны параметры вентилятора для камеры сушки. Первым этапом стал выбор двигателя исходя из мощности и угловой частоты вращения. Также был выбран преобразователь частоты и рассчитаны инвертор и выпрямитель. Было выбрано защитное оборудование в виде автоматического выключателя. Рассчитан канал измерения тока и выбран соответствующий трансформатор.

Выполнен расчет параметров схемы замещения АД с короткозамкнутым ротором. Построены естественные механические и электромеханические характеристики $\omega = f(I)$ и $\omega = f(M)$. Также построены семейства механических характеристик, в следствии чего был выбран закон частотного регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = const$. Данный закон довольно сложен в реализации, но позволяет сэкономить электроэнергию, а также повышает пусковой момент при малых частотах за счет настройки вольт–частотной характеристики.

Для моделирования была использована среда Matlab Simulink. Была создана имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат. Получены переходные процессы при разных частотах с учетом настройки вольт–частотной характеристики и без нее. Наглядно показали пуск двигателя при низкой частоте.

Для реализации автоматического управления был выбран программируемый логический контроллер. Реализован программный код

процесса сушки пиломатериалов. Создана основная программа и описаны подпрограммы, создана HMI панель и программно реализовали ШИМ. Представлены переходные процессы внутри камеры сушки пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сушка древесины: учебное издание / А.И.Расаев; ПТУ. – Москва: Издательство “Высшая школа”, 1990. – 224с.
2. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 218 с.
3. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С.Удуд, О.П.Мальцева, Н.В.Кояин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 – 448с.
4. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно – регулируемых асинхронных электроприводах.–Чебоксары: Издательство Чуваш. Ун-та,1998.–172с.
5. Справочник по электрическим машинам: Том 2/С74 Под общей редакцией И.П.Копылова, Б.К. Клокова.–М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688с.
6. Моделирование систем электропривода в Simulink(Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терехин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 –292 с.
7. Система программирования ПЛК CoDeSys: учебное пособие / С.Н.Басков; Южно–Уральский государственный университет. – Челябинск: Издательство Южно–Уральский государственный университет, 2018. –90с.
8. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).
9. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ.
10. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические

требования // Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 г.

11. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности // Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 г.

12. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения - М.: Стандартинформ, 2019 г.

13. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

14. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 28 января 2021 №1.2.3685-21 (с изменениями на 30 декабря 2022 года).

15. Сводная ведомость результатов проведения специальной оценки условий труда в ФГАОУ НИ ТПУ в 2022 году [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://portal.tpu.ru/departments/otdel/oot/Tab1/Tab1/svod_2022.pdf.

16. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.

17. МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.

18. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) - М.: Стандартинформ, 2008 г.

19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. утв. приказом Минэнерго России от 08.07.2002 №204. – М: ЭНАС, 2003.

20. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

21. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1) - М.: Стандартиформ, 2006 г.

22. ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

23. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

24. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 24.10.2022) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации"

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал

Схема подключения преобразователя частоты Oni A650

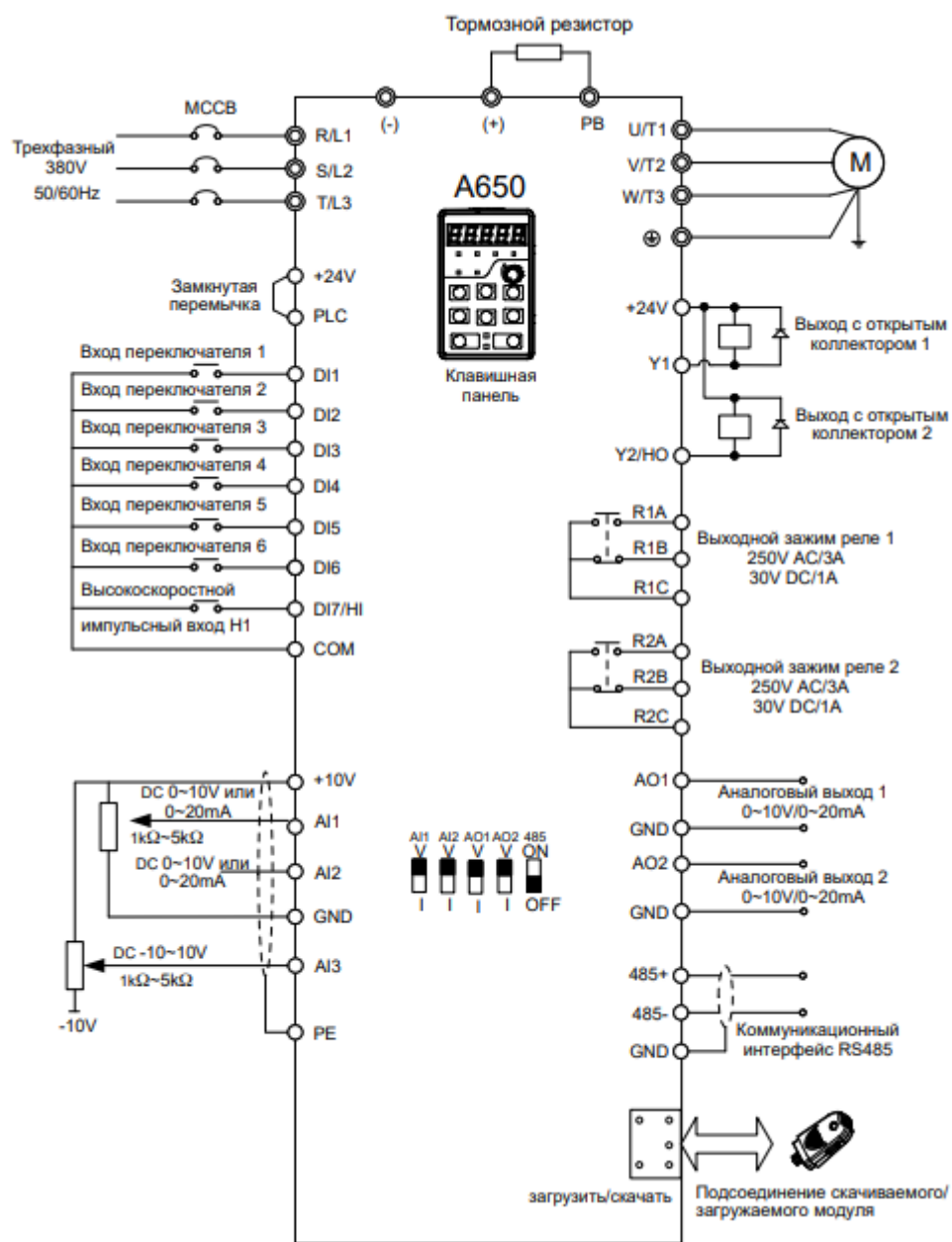
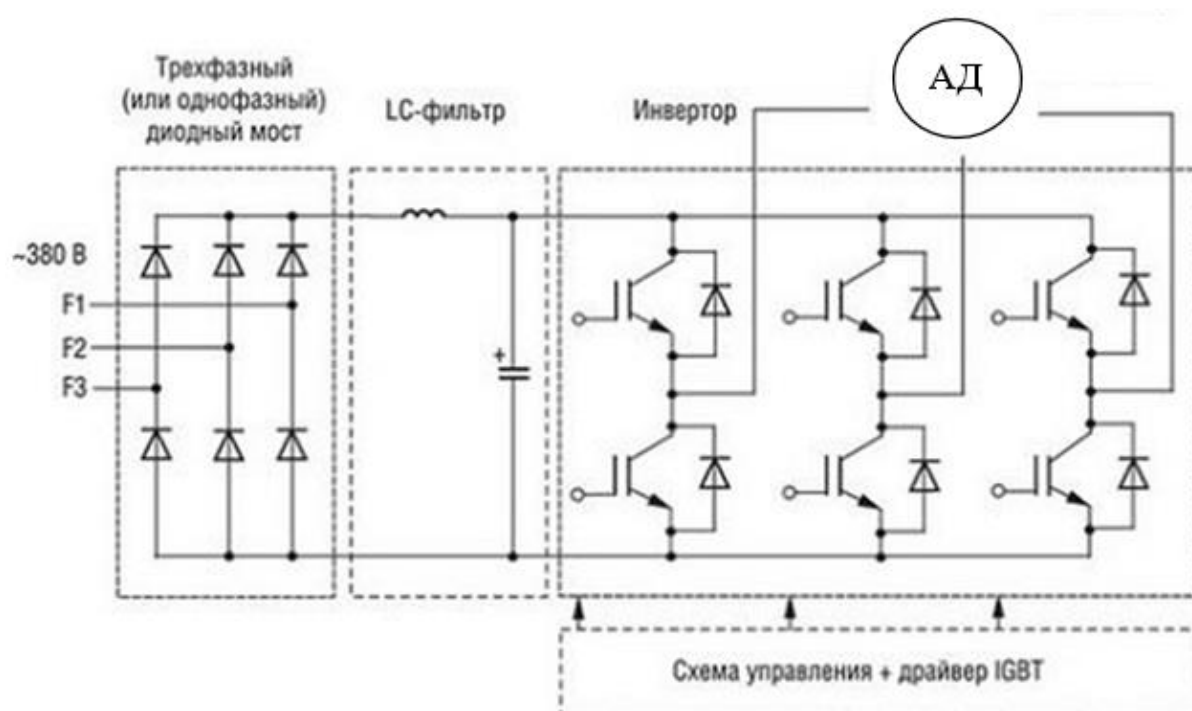
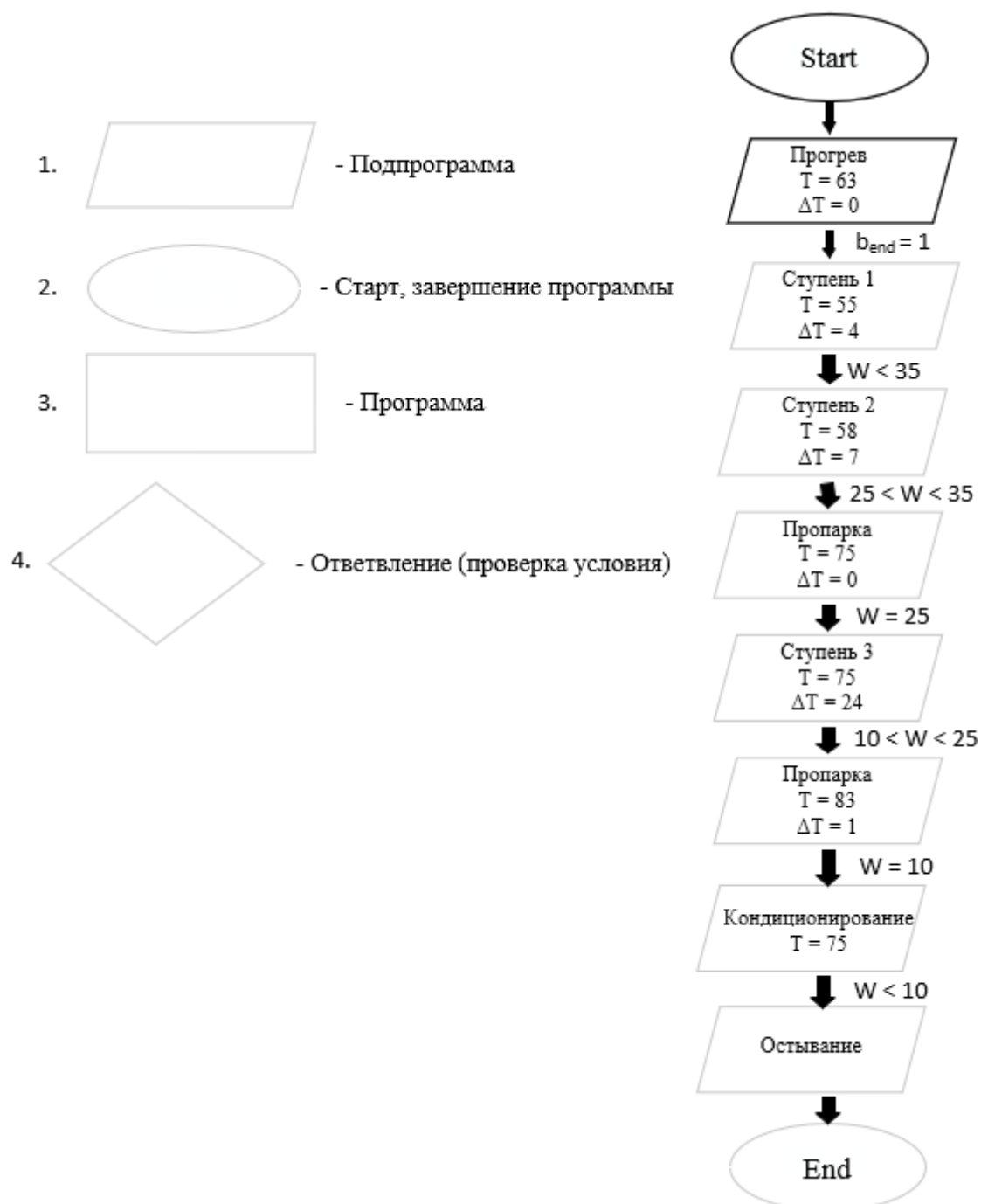


Схема электрическая принципиальная



Программный код ступеней сушки на языке SFC.



Подпрограмма ступени сушки пиломатериалов на языке SFC.

