

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

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование режимов работы скалярного электропривода рекуператора в системе вентиляции

УДК 628.83-83.004.13-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Прохоров Сергей		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>
P7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>
P11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.</i>

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Прохорову Сергею

Школа	Инженерная школа энергетики	Подразделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является математическая модель рекуператора воздуха в системе вентиляции в режиме разморозки инеевых наростов. Данная разработка может использоваться при разработке программного обеспечения для программируемых логических контроллеров, управляющих системами рекуперации в жилых и нежилых помещениях.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). –	Анализ микроклимата с приведением соответствующих норм (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) Оценка влияния шума и электромагнитного излучения (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) Расчет освещения рабочей зоны, соответствующий (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) Механические опасности отсутствуют Термические опасности отсутствуют; Установлены удлинители в розетках Возможные причины пожара – работа в аварийных режимах.
Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электроопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	Электроопасность. Поражение электрическим током
Экологическая безопасность:	Утилизация отходов производства и потребления. (источники отходов)
Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Выбор наиболее типичной ЧС – пожар в помещении; Описание пожарно-профилактических мероприятий по предотвращению возникновения пожароопасных ситуаций; Разработка плана эвакуации;

<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. – организация рабочего места 	<p>Перечень законодательных и нормативных документов; Разработка схемы расположения технических средств на рабочем месте для обеспечения комфортной работы; Правовые вопросы безопасности</p>
---	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Прохоров Сергей		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Прохоров Сергей

Институт	ИШЭ	Подразделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистр	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ
Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Оценочная карта QuaD
3. Матрица SWOT
4. График Ганта
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Прохоров Сергей		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из: 129 листов, 50 рисунков, 10 приложений

Ключевые слова: асинхронный двигатель, преобразователь частоты, вентиляция, иней, рекуперация.

Работа представлена введением, 6 разделами и заключением, приведен список использованных источников и публикаций.

В введении рассмотрены основные виды рекуператоров. Обозначена необходимость использования систем рекуперации. Описана проблема возникновения инея и последствия, связанные с ней.

В первом разделе описан объект исследования. Рассмотрены различные решения данной проблемы. Сформирована общая структура комплекса технических средств АСУ ТП.

Во втором разделе произведены расчеты и выбраны элементы системы рекуперации.

В третьем разделе производится структурный и параметрический синтез системы управления. С помощью современных технических средств (SciLab, MATLAB, CLASSiC), произведено моделирование системы и получены переходные характеристики процессов. Сформирован алгоритм управления для программируемого логического контроллера, построена схема для монтажа. Предложено решение избавления от случайных срабатываний, связанных с помехами.

В четвертом разделе рассматриваются вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В пятом разделе рассмотрены вопросы охраны труда, безопасности и здоровья.

В заключении описана проделанная работа.

Цель работы – решить проблему появления инея в вентиляционных системах при использовании рекуператора, а также исключить влияние помех на работу автоматизированной системы управления.

В результате исследования сформирован алгоритм управления для программируемого логического контроллера. Предложено решение избавления от случайных срабатываний, связанных с помехами.

Данный алгоритм реализован на объекте в жилом доме в п. Жатай (Якутия) на регуляторе ВЭСТ-02. В работе описывается реализация на контроллере ОВЕН ПЛК 150.

С помощью современных технических средств (SciLab, MATLAB, CLASSiC), произведено моделирование системы и получены переходные характеристики процессов.

Диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

На основании материалов исследований были опубликованы 6 статей и 1 патент.

Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель.

ПЧ – преобразователь частоты.

ПЛК – программируемый логический контроллер.

ПУ – преобразовательное устройство.

ПИ – пропорционально интегральный.

КПД – коэффициент полезного действия.

УУ – устройство управления.

Нормативные ссылки

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 50369 – 92 Электроприводы. Термины и определения.
- ГОСТ 12.1.004 – 91 Пожарная безопасность. Общие требования.
- Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
- ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.1.005-88. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- СНИП 23.05.95 Естественное и искусственное освещение;
- Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 “Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств”

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ СИСТЕМЫ.	13
1.1. Объект исследования	13
1.2. Литературный обзор решений	14
1.3. Предлагаемое техническое решение	16
1.4. Составление перечня измеряемых технологических переменных и управляющих воздействий, определение требуемой точности измерения и управления, а также среды и условий работы измерительных и регулирующих устройств;.....	19
1.5. Разработка комплекса технических средств АСУ ТП.....	19
2. ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПА РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	22
2.1. Выбор электродвигателя.....	22
2.2. Расчет параметров электродвигателя.....	24
2.3. Выбор преобразователя	27
2.4. Определение параметров силовой цепи.....	28
2.5. Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода	28
2.6. Выбор функциональной и структурной схемы электропривода.....	34
2.7. Имитационная модель электропривода.....	36
2.8. Выбор программируемого логического контроллера.....	38
2.9. Выбор средств связи	39
2.10. Выбор датчиков.....	40
3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ;	41
3.1. Структурный и параметрический синтез системы управления технологическим оборудованием;	42
3.2. Проверка устойчивости	43
3.3. Разработка алгоритмов функционирования системы управления технологическим оборудованием;	49
3.4. Компьютерное моделирование алгоритмов управления	51
3.5. Наблюдатель переменных состояния процесса заивевания	53
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	56
Введение.....	56
4.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.	56
4.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	61
4.3. Экологическая безопасность.....	62
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	64
4.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	66
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ	69

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	70
5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	73
5.3. Планирование научно-исследовательских работ	74
5.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	84
ВЫВОД	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	88
ПУБЛИКАЦИИ	91
ПРИЛОЖЕНИЯ	92
Приложение А	92
Introduction	93
Measured process variables	95
Design of the automated control systems of an object.....	96
The dynamic properties of frosting process.....	97
Observer of state variables of the hoar frost process	100
Conclusion	103
References	104
Приложение Б.1	105
Приложение Б.2.....	107
Приложение В	109
Приложение Г.....	110
Приложение Д.....	111
Приложение Е.1.....	112
Приложение Е.2.....	117
Приложение Ж.....	121
Приложение 3.1	122
Приложение 3.2	123
Приложение 3.3	124
Приложение 3.4.....	125
Приложение 3.5.....	126
Приложение 3.6.....	127
Приложение 3.7.....	128
Приложение 3.8.....	129

Введение

Электрический привод – электромеханическая система, состоящая в общем случае из взаимодействующих преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса. [1]

Сегодняшний электропривод является неотъемлемой частью различных отраслей промышленности, поскольку выполняет роль основного средства производства продукции. Так, для улучшения показателей производительности, качества, экономии прибегают к автоматизации различных процессов и, следовательно, автоматизации работы с электроприводами. Этот процесс подразумевает под собой переход к механизированному выполнению определенной работы различными машинами, ранее выполняемые человеком. При этом данный процесс подразумевает наличие диспетчера, контролирующего протекающие процессы.

Автоматизация технологических процессов затрагивает множество задач внутри системы: от включения и отключения реле или пускателей, до задействования нейросетей. Благодаря накопленному опыту и развитию технологий в настоящее время можно автоматизировать практически любой процесс.

В данной работе будет затронута весьма актуальная тема – системы энергосбережения, а в частности, энергосбережение в системах вентиляции. В частности, будут рассмотрены системы рекуперации.

Различают множество типов рекуператоров. *Пластинчатые рекуператоры* – самый распространенный вид рекуператоров, применяемых в системах приточно-вытяжной вентиляции. Принцип его действия заключается в пересечении воздушных потоков приточного и вытяжного воздуха. Эти потоки пересекаются, но не перемешиваются в специальном пластинчатом теплообменнике. Материалом для пластин могут служить алюминий, пластик, нержавеющая сталь, бумага. [2]

Роторные рекуператоры – второй по распространенности вид рекуператоров, применяемых в системах приточно-вытяжной вентиляции. Принцип его действия заключается в прохождении воздушных потоков

приточного и вытяжного воздуха через специальный вращающийся роторный теплообменник. [2]

Камерные рекуператоры. Камера разделяется на две части заслонкой. Удаляемый воздух нагревает одну часть камеры, затем заслонка изменяет направление воздушного потока таким образом, что приточный воздух нагревается от нагретых стенок камеры. [2]

Тепловые трубы. Данный рекуператор состоит из закрытой системы трубок, заполненных фреоном, который испаряется при нагревании удаляемым воздухом. Когда приточный воздух проходит вдоль трубок, пар конденсируется и вновь превращается в жидкость. [2]

Рекуператоры с промежуточным теплоносителем. Вода или водно-гликолевый раствор (Рисунок 1) циркулирует между двух теплообменников, один из которых расположен в вытяжном канале, а другой в приточном. Теплоноситель нагревается удаляемым воздухом, а затем передает тепло приточному воздуху. [2]

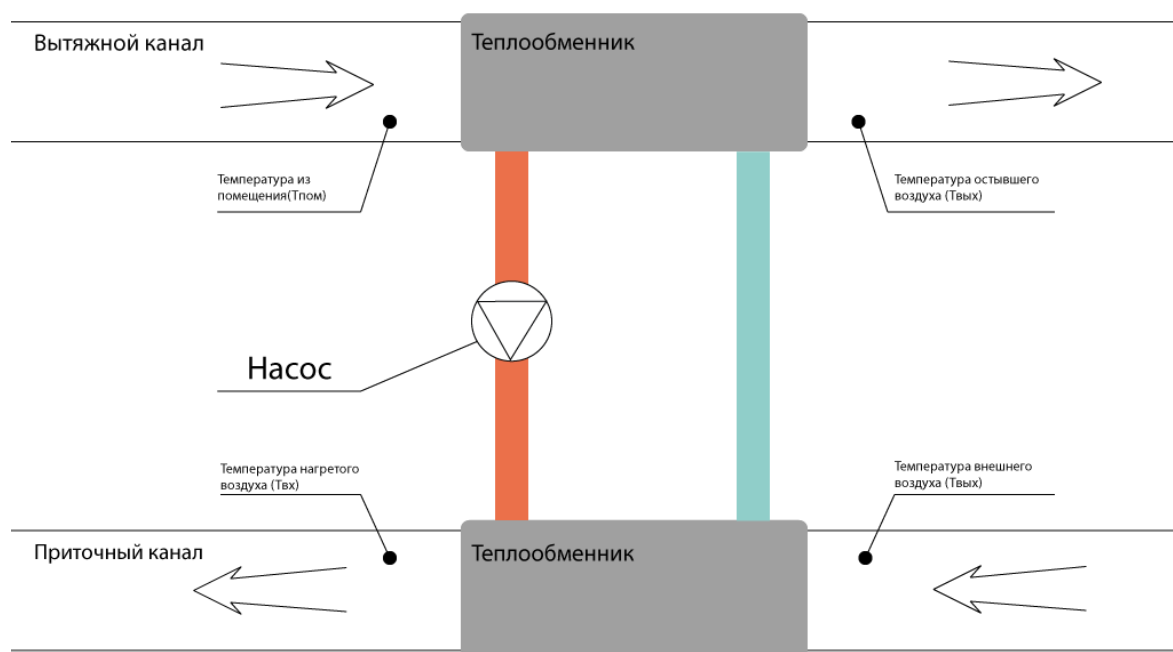


Рисунок 1 – Рекуператор с промежуточным теплоносителем.

В работе будет рассматриваться этот вид рекуперативных установок.

Зимой, при низких температурах (ниже -15) рекуператоры покрываются инеем, что способствует ухудшению движения воздушных масс. Это происходит из-за того, что холодные стенки канала, становятся холоднее других частей системы и превращаются в своеобразную «ловушку» для влаги, благодаря хорошей работе рекуператора. В работе будет рассмотрено решение данной проблемы.

1. Определение основных элементов и принципа работы системы.

1.1. Объект исследования

Объект располагается в Республике Саха (Якутия), ГО Жатай. Реализован в одном из домов, строящихся в рамках единственного в России энергоэффективного квартала.

Система представляет собой рекуперативную систему с промежуточным теплоносителем, встроенную в вентиляционную систему жилого дома. В качестве теплоносителя используется 60 % этиленгликоль, поскольку в условиях низких температур, данный вид жидкости обладает преимуществом относительно самого распространенного вида жидкости – воды, так как температура замерзания его раствора составляет порядка -50°C . [3]

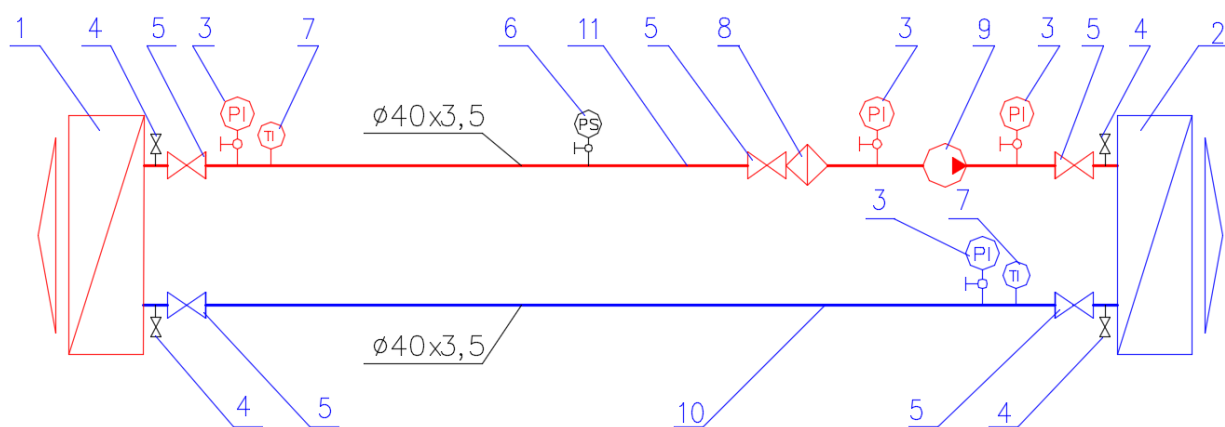


Рисунок 2 – Схема работы рекуперативной системы

На рисунке 2 представлена схема предлагаемой установки рекуперации с промежуточным теплоносителем, где теплообменники 1 нагреватель на вытяжке и 2 охладитель на притоке; приборы, показывающие состояние системы: 3 манометр, 6 реле перепада давления, 7 термометр; клапаны, для ручной регулировки потока 4,5; фильтр 8; насос 9, который прогоняет теплоноситель по трубам 10 и 11

Установка рекуперации с промежуточным теплоносителем работает следующим образом: утилизируемая теплота охлаждаемого воздуха, которая от работающего насоса 9 передается на нагрев приточного наружного воздуха, в работе схемы, при работе электродвигателей вытяжного и приточного вентиляторов и насоса 9, который по трубопроводу 10, 11 подает в трубки теплоизвлекающего теплообменника 1 антифриз с отрицательной температурой и проходя по трубкам теплообменника 10, 11 этиленгликоль

нагревается до определенной положительной температуры благодаря извлечению теплоты из вытяжного воздушного потока, при этом на пластине теплообменника на вытяжке 2 происходит выпадение конденсата, который, при отрицательных температурах, замерзает и это приводит к известным проблемам. За состоянием системы можно следить с помощью датчиков 3, 6, 7. При необходимости, поток теплоносителя можно перекрыть вручную, с помощью клапанов 4,5 [3]. В связи с климатическими особенностями местности, температура в регионе ниже -30°C в зимний период времени является постоянной, и проблема образования инеевых наростов становится актуальной. При этом возникает множество проблем: иней препятствует прохождению выходного потока воздуха, что при сильном закупоривании канала, может привести к полной остановке системы. Процесс заиневаания происходит из-за того, что холодные стенки канала, становятся холоднее других частей системы и превращаются в своеобразную «ловушку» для влаги, благодаря хорошей работе рекуператора. Решение проблемы заиневаания является основной в данной работе.

1.2. Литературный обзор решений

Проблема разморозки инеевого слоя в вентиляционных рекуперативных системах является очень важной, так как наросты могут являться причиной плохой циркуляции воздушных потоков, большой загрузки двигателей вентиляторов, ухудшения теплопередачи внутри системы. Благодаря своей актуальности, решением данной проблемы занимались многие специалисты и их труды были опубликованы на различных известных ресурсах. Основной задачей данного раздела является поиск данных решений и применение их к данной работе.

Поиск работ для оценки необходимых решений производился при помощи выделения основных ключевых слов, относящихся к данной диссертации. На основании обозначенной проблемы были выбраны следующие ключевые слова: «вентиляция», «иней», «рекуперация».

Основными источниками, в которых производился поиск, были российские и международные патентные базы (<http://www1.fips.ru>, <http://ru.espacenet.com/>), крупнейшая в мире база рефератов и цитирования – Scopus, политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных – Web of Science. На основании поисковых запросов были выделены следующие, наиболее подходящие источники, которые рассматривают проблему разморозки инеевых наростов.

Одним из самых старых, ненадежных и не требующих дополнительного оборудования, является метод механической очистки. Данный метод не рассматривается в научных трудах, так как в нем не рассматриваются какие-либо технические решения. Он заключается в следующем: обслуживающий персонал освобождает подступ к проблемным местам, затем с помощью специальных средств очищает каналы вручную. Данный способ очистки является самым распространенным, поскольку за неимением финансовых и технических средств, он является крайне дешевым. Но при использовании этого способа очистки, могут возникнуть некоторые проблемы, так в условиях, когда нельзя приблизиться к местам, которые необходимо очистить, либо при крайне плохих погодных условиях очистку произвести не удастся, также при отсутствии квалифицированного персонала, очистка может привести к поломкам.

Еще одним способом избавления от инеевых наростов, который рассматривается в научных публикациях, является метод, при котором нагреватели, внедряемые в каналы вентиляции нагревают воздух, который удаляет наросты инея. При поступлении с датчиков сигнала об уровне нароста инея выше допустимого, срабатывает автоматика, включающая нагревательные элементы. [4]



Рисунок 3– Канальный воздушонагреватель

Этот метод не будет применен в данной работе, так как он имеет следующие недостатки:

- этот метод является довольно дорогим, поскольку при внедрении данного воздушонагревателя необходимо разработать и внедрить схему релейно-контакторной защиты и управления
- металлические нити накаливания имеют значительную инерцию, а потому электронагреватели должны быть снабжены защитой от перегрева.

- затраты на электроэнергию при использовании
- в связи с особенностью строения вентиляционной системы, внедрение подобного типа воздухонагревателя не всегда возможно.

Следующий способ основан на работе теплообменника-утилизатора с перекрестно-точными каналами [5], который избавляется от инеевого налета, путем поворота вокруг своей оси на 180° , степень заиневаания в котором определяется либо датчиками температуры, находящимися в дальнем углу установки, либо с помощью датчика перепада давления. Подробная работа и возможное конструктивное строение, описанное в патенте представлено в приложении А.

Недостатком данного метода является то, что для поворота теплообменника вокруг своей оси требуется дополнительный привод, реализующий данное перемещение. [5]

Следующий метод описывается в патенте на изобретение «Установка утилизации тепла вытяжного воздуха» [6]. Избавление от инея, в котором, осуществляется путем нагрева антифриза. Работа данного метода описана в приложении А.2.

Решением из области автоматизации является метод, при котором снижается эффективность рекуператора [7]. Так при образовании инеевого налета, на систему управления рекуператором по обратной связи с датчиков поступает соответствующий сигнал, при появлении которого срабатывает система автоматизации, при которой снижается скорость или совсем выключается циркулирующий насос. В результате тепло воздушных масс, которое не «забрал» теплообменник из-за падения эффективности рекуператора, плавит инеевый налет.

На основании проанализированных решений было принято решение двигаться в следующем направлении:

1. наличие инея будет определяться с помощью датчиков перепада давления;
2. избавление же от инеевого налета будет проводиться с помощью метода, при котором снижается эффективность рекуператора.

Подробное описание предложенного технического решения будет описано ниже.

1.3. Предлагаемое техническое решение

В данной работе будет реализовано техническое решение проблемы образования налетов инея, выбранное на основании проанализированной литературы, представленное на рисунке 4.

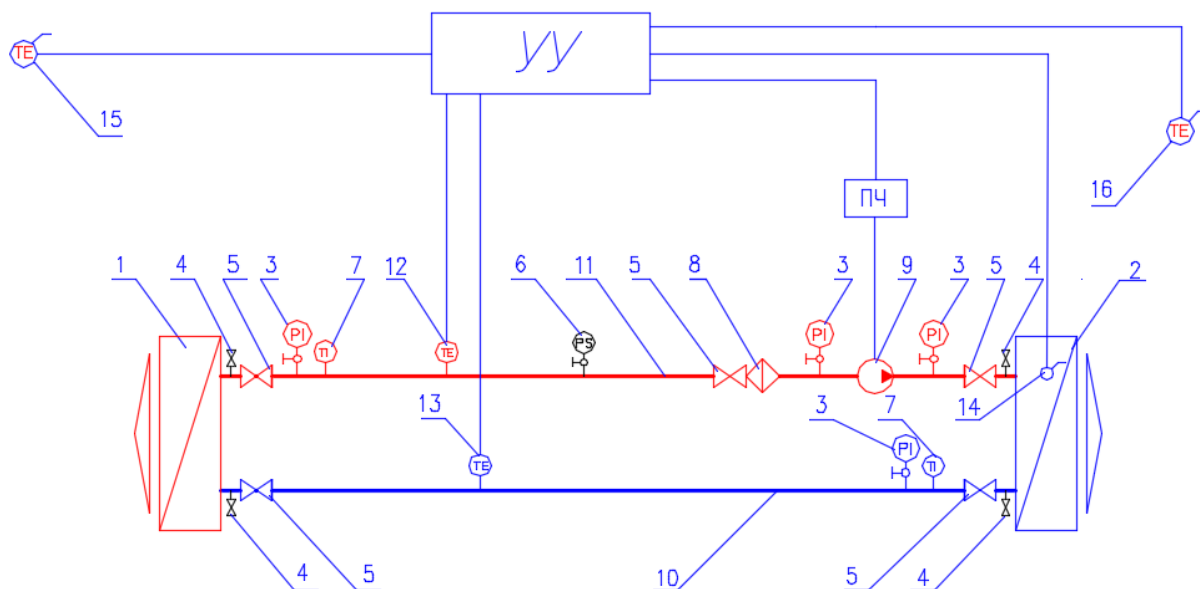


Рисунок 4 – Функциональная схема работы рекуперативной системы с защитой от заиневаания

Задачей выбора данного вида технического решения являлся выбор наиболее оптимальной реализации устройства, учитывающее недостатки и достоинства предложенных в источниках методов.

Модернизированная система состоит из следующих элементов: теплообменники – 1 нагреватель на вытяжке и 2 охладитель на притоке; приборы, показывающие состояние системы: 3 манометр, 6 реле перепада давления, 7 термометр; клапаны, для ручной регулировки потока 4,5; фильтр 8; насос 9 и преобразователь частоты ПЧ, позволяющий управлять посредством устройства управления УУ, двигателем насоса 9, который прогоняет теплоноситель по трубам 10 и 11; для получения данных о системе к трубам прямого и обратного потоков 11 и 10 подсоединены датчики температуры 12 и 13, датчик перепада давления 14, измеряющий давление до и после теплообменного блока, а также датчики температуры наружного воздуха 16 и температуры воздуха внутри помещения 15, позволяющие получать и передавать информацию устройству управления УУ.

Данная рекуперативная установка с промежуточным теплоносителем и частотным управлением работает следующим образом: утилизация теплоты охлаждаемого воздуха, которая от работающего насоса 9 передается на нагрев приточного наружного воздуха, в работе схемы, при работе электродвигателей вытяжного и приточного вентиляторов и насоса 9, который по трубопроводу 10, 11 подает в трубки теплоизвлекающего теплообменника 1 антифриз с отрицательной температурой и проходя по трубкам теплообменника 10, 11 этиленгликоль нагревается до определенной положительной температуры

благодаря извлечению теплоты из вытяжного воздушного потока, при этом на пластине теплообменника на вытяжке 2 происходит выпадение конденсата, который, при отрицательных температурах, замерзает и образует слой инея. При достижении последнего критического значения, датчик перепада давления 14 подает сигнал на устройство управления УУ, в свою очередь устройство управления, при помощи преобразователя частоты ПЧ, посредством понижения частоты вращения двигателя насоса, снижает эффективность работы рекуперативной установки. Таким образом на теплообменнике 2 в зоне образования инеевого нароста, поддерживается температура точки росы, при которой происходит оттаивание инея. Так, после освобождения путей для прохождения воздушных потоков, датчик перепада давления 14 сигнализирует устройству управления УУ об отсутствии инея, последний в свою очередь с помощью преобразователя частоты ПЧ выводит двигатель насоса на режим работы при котором эффективность рекуператора максимальна.

Основным критерием для перехода системы в режим поддержания температуры точки росы (режим пониженной эффективности), будет служить сигнал с датчика перепада давления. Количество инея будет измеряться в относительных единицах (0 – канал чист, 1 – система полностью закупорена).

Требования к системе управления электроприводом рекуператора следующие:

- Поддержание чистоты канала вентиляции
- Надежный переход между режимами
- Определение степени заиневания
- Обеспечение диапазона регулирования 1:10.

1.4. Составление перечня измеряемых технологических переменных и управляющих воздействий, определение требуемой точности измерения и управления, а также среды и условий работы измерительных и регулирующих устройств;

В качестве измеряемых технологических переменных будут использованы следующие величины:

- Перепад давления, ΔP
- Температура выходящего во внешнюю среду (после теплообменника) воздуха, $T_{\text{вых}}$

Управляющим воздействием будет аналоговый сигнал с регулятора $U_{\text{уп}}$

В данном случае не требуется высокого быстродействия, так как процесс нарастания инея является довольно длинным. Показатели диапазона и точности регулирования также являются невысокими. В связи с этим принято решение использовать скалярное управление.

Возмущающим воздействием в данном случае будет момент инерции двигателя (J). На валу закреплена крыльчатка, момент ее инерции мал, поэтому им можно пренебречь

Основные критерии качества и цели управления технологическим процессом, закладываемые в структуру ЭП:

- заложенные законы скалярного управления;
- диагностика электродвигателя и преобразователя частоты;
- организации обмена данными с диспетчерским пунктом;
- выполнение требований стандартов безопасности;
- выполнение требований стандартов по стойкости к различным воздействиям.

1.5. Разработка комплекса технических средств АСУ ТП

В данной системе присутствует четкая иерархическая система, разделенная на несколько уровней. Система представлена на рисунке 5

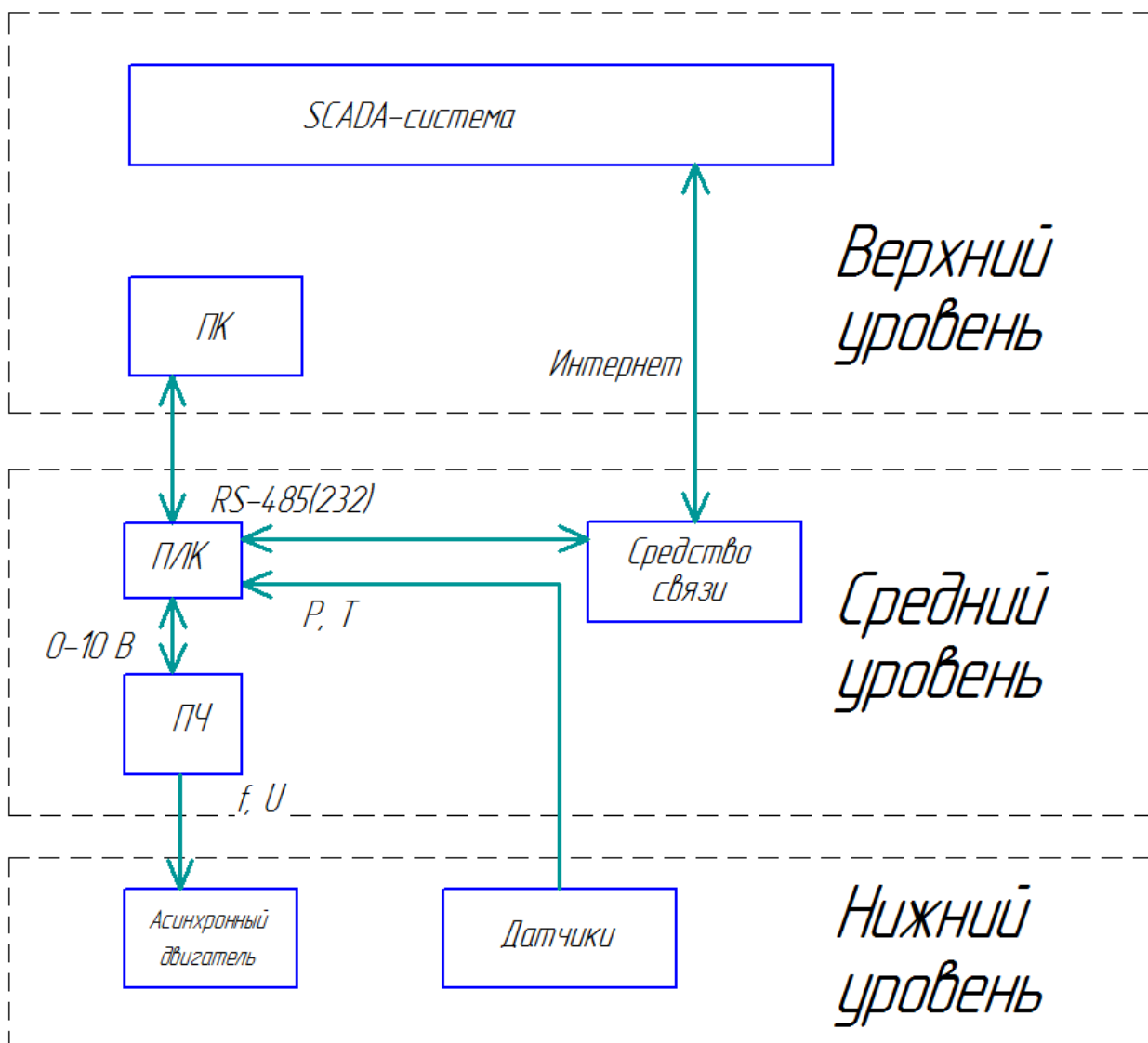


Рисунок 5 – Блок схема аппаратных средств автоматизации

Всю систему разделена на следующие составляющие:

- нижний уровень – уровень датчиков и исполнительных механизмов;
- средний уровень – уровень промышленных контроллеров (ПЛК), средств управления (а также средств связи с высоким уровнем);
- верхний уровень – сетевое оборудование, управляющий ПК или scada-система (уровень операторских и диспетчерских станций).

Согласно рисунку 5, связь между различными аппаратными средствами будет производиться следующим образом:

- Аналоговый сигнал с датчиков поступает на АЦП регулятора, который впоследствии обрабатывается. В системе используется скалярное управление. В связи с этим, частота вращения двигателя будет определяться

заданными преобразователем частоты напряжением и частотой. Задание на ПЧ будет поступать от ПЛК при помощи аналогового сигнала 0 – 10 В.

- Связь контроллера с высоким уровнем будет производиться при помощи интерфейса RS-485 (232) построенном на протоколе ModBus RTU. Для непосредственной связи ПК с контроллером следует лишь иметь преобразователь интерфейса (RS-485 to USB) при использовании RS-485, и наличии СОМ-порта, при использовании RS-232. Для удаленной работы с устройствами потребуется интернет-коммуникатор, осуществляющий связь со scada-системой.

В результате описан объект, на котором будет производиться модернизация и описана проблема возникновения инея. На основании обозначенной проблемы произведен литературный обзор, который помог определить основные решения применяемые в данной области. В итоге выбрано решение, при котором разморозка инея будет производиться при помощи поддержания температуры точки росы на выходе системы. Сформированы основные требования и структура установки со всей периферийной частью, а также правила взаимодействия между уровнями системы.

2. Обоснование принципа реализации электропривода

В установке будет использован центробежный насос в качестве исполнительного механизма. Данный электропривод не требует большой точности при управлении технологическим процессом. Согласно ТЗ требуется обеспечить диапазон регулирования 1:10.

На основании вышеперечисленных данных, было принято решение использовать частотный электропривод со скалярным управлением.

2.1. Выбор электродвигателя

Исходные данные к работе представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Исходные данные

Производительность, м ³ /с	Напор, м	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД насоса	КПД передачи	Плотность перекачиваемой жидкости, кг/м ³	Коэффициент запаса
0,0014	29,9	2200	0,72	1,0	1110	1,3

Определение необходимой расчетной мощности, для дальнейшего выбора оборудования (насос, двигатель, ПЧ)

$$P_{\text{ов}} = K_z \cdot P_{\text{нас}} = K_z \cdot \frac{Q \cdot P_n}{\eta_{\text{на}} \cdot \eta_n} = K_z \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{на}} \cdot \eta_n} = 1,3 \cdot \frac{1110 \cdot 9,81 \cdot 0,0016 \cdot 29,9}{0,72 \cdot 1} = 822,723 \text{ Вт}$$

$$P_H \geq P_{\text{расч}} = 0,823 \text{ кВт}$$

где,

K_z - коэффициент запаса;

$P_{\text{нас}}$ - мощность насоса (гидравлическая), кВт;

P_n - давление на напоре насоса, Па;

$Q_{\text{на}}$ - производительность насоса, м³ / с ;

H - полный напор жидкости, м;

ρ - плотность перекачиваемой жидкости, кг / м³ ;

g - ускорение свободного падения, м / с² ;

$\eta_{\text{на}}$ - КПД насоса;

η_n - КПД передачи;

На основании расчетной мощности выбран насос датской фирмы Grundfos CM1-10 A-R-G-E-AQQE (Рисунок 6). Насос CM представляет собой компактный горизонтальный многоступенчатый центробежный насос с: 3-фазным, 380/220 V, 50 Hz, монтируемым на лапах асинхронным электродвигателем мощностью 0,84 кВт и номинальной частотой вращения 2750-2810 об/м Насос с осевым всасывающим каналом и радиальным выпускным каналом, включая торцевое уплотнение вала особой конструкции в исполнении AQQE. Вал, рабочие колёса, камеры, пробки заливочных отверстий, всасывающий и нагнетательный трубопроводы выполнены из нержавеющей стали. [8]



Рисунок 6 – Насос Grundfos CM1-10 A-R-G-E-AQQE

Технические характеристики выбранного двигателя центробежного насоса приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры асинхронного двигателя

$P_{ном},$ кВт	$n_{ном},$ об/мин	КПД, %	Коэф. мощности	$I_{ном},$ А	$M_{пуск}/$ $M_{ном}$	$I_{пуск}/$ $I_{ном}$	$M_{макс}/$ $M_{ном}$	J, кг·м ²
0,85	2810	78,1	0,84	2,1	2,8	5,3	2	0,0091

В связи с особенностью электропривода данного типа, были поставлены задачи обеспечения следующих параметров:

- плавный пуск и торможение – время переходного процесса $t \geq 2$ с;
- диапазон регулирования 1:10;
- ограничение момента и тока двигателя – $M_{дв.макс} \leq 2 M_{дв.н}$;

2.2. Расчет параметров электродвигателя

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 314,159 \text{ рад / с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = 2810 \text{ об / мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2810}{30} = 294,263 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{850}{294,263} = 2,889 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда номинальный фазный ток:

$$I_{\text{фн}} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{850}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 1,963 \text{ А}$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя необходимо найти параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 7.

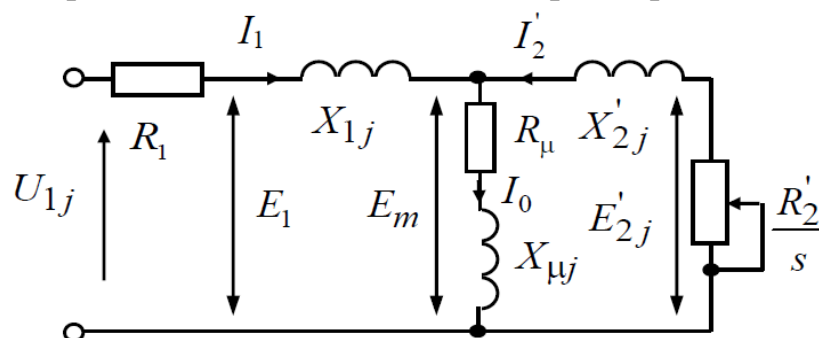


Рисунок 7 - Схема замещения асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 20 – 25 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке. Коэффициент загрузки двигателя принимается $p^* = 0,75$ из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей. [9]

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 850}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 1,675 \text{ A}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \sqrt{\frac{1,502^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 1,963 \cdot (1 - 0,063)}{1 - 0,75 \cdot 0,063} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,063)}{1 - 0,75 \cdot 0,063} \right)^2}} = 1,246 \text{ A}$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{\text{кр.}} = S_n \cdot \frac{k_{\text{max}} + \sqrt{k_{\text{max}}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\text{max}} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\text{max}} - 1)} =$$

$$= 0,027 \cdot \frac{2 + \sqrt{2^2 - (1 - 2 \cdot 0,063 \cdot 1 \cdot (2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,063 \cdot 1 \cdot (2 - 1)} = 0,272 \text{ o.e}$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$

Момент критический двигательного режима:

$$M_{\text{кр.}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 294,264 \cdot 1,029 \cdot \left[8,064 + \sqrt{8,064^2 + 7,609^2} \right]} = 6,166 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Критическое скольжение:

$$S_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{7,609}{\sqrt{8,064^2 + 28,574^2}} = \pm 0,272$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\text{max}} = k_{\text{max}} \cdot M_n = 2 \cdot 2,889 = 5,778 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\text{min}} = k_{\text{min}} \cdot M_n = 1 \cdot 71,972 = 71,972 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты [9]:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{1,246}{2 \cdot 5,3 \cdot 1,964} = 1,06$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{ос}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,063)}{2 \cdot 1,06 \cdot 2 \cdot 850} = 37,755$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{кр}}\right) \cdot C_1} = \frac{37,755}{\left(1 + \frac{1}{0,272}\right) \cdot 1,06} = 7,609 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,06 \cdot 7,609 \cdot 1 = 8,064 \text{ Ом}$$

Параметр γ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{кр}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,272^2} - 1^2} = 3,543$$

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,543 \cdot 1,06 \cdot 7,609 = 28,574 \text{ Ом}$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{28,574}{1,06} = 15,637 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 28,564 = 12,001 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$E_1 = \sqrt{\left(U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n}\right)^2 + \left(U_{\phi} \cdot \sin \varphi_n - X_1 \cdot I_{\phi n}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(220 \cdot 0,84 - 8,064 \cdot 1,963\right)^2 + \left(220 \cdot 0,543 - 12,001 \cdot 1,963\right)^2} =$$

$$= 194,242 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{194,242}{1,246} = 155,884 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания) [10]:

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{155,884}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,091 \text{ Гн}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{12,001}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0382 \text{ Гн}$$

Итоговая индуктивность обмотки статора:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_m = 0,0382 + 0,091 = 0,129 \text{ Гн}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{15,637}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0498 \text{ Гн}$$

Итоговая индуктивность обмотки ротора:

$$L_2 = L_{2\delta} + L_m = 0,0498 + 0,091 = 0,141 \text{ Гн}$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1, \text{Ом}$	$L_1, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$L'_2, \text{Гн}$	$L_m, \text{Гн}$
8,064	0,129	7,609	0,141	0,091

2.3. Выбор преобразователя

На основании мощности двигателя центробежного насоса, был выбран преобразователь частоты *Danfoss VLT 2811* мощностью *1,1 кВт* [11];

Основные параметры частотного преобразователя:

- Скалярное управление с компенсацией скольжения
- Настраиваемая U/f характеристика для специальных режимов двигателя
- Регулирование скорости без датчика скорости (sensorless)
- Автоматический пропуск 2-х резонансных частот
- ПИД-контроллер процесса

- Выходная частота: 0-1000 Гц
- Векторное и скалярное управление двигателем
- Пусковой момент (постоянный момент) Максимум 160% в течение 60 сек
- функции защиты двигателя
- Функции точной остановки с компенсацией скорости
- Точный останов
- Автоматическая подстройка двигателя
- Максимальная длина неэкранированного моторного кабеля 75 м
- 1 аналоговый вход 0 - 10 В по напряжению или 0 - 20 мА по току (масштабируемый);
- 1 аналоговый вход 0-20 мА по току (масштабируемый);
- Встроенный источник питания 24V/10V для датчиков/логики
- 1 реле ~240 В переменное, 2 А;
- 1 аналоговый выход 0-20 мА по току;
- 5 программируемых цифровых входов;
- Частота импульсного входа 4 - 67600 Гц;

2.4. Определение параметров силовой цепи

С учетом ШИМ выходного напряжения инвертора

Напряжение питающей сети $U_c = (380 - 420) \text{ В}$.

Частоту $f_{\text{ШИМ}} = 5000 \text{ Гц}$ и период $T_{\text{ШИМ}} = 1/f_{\text{ШИМ}} = 0,0002 \text{ с}$. ШИМ выходного напряжения инвертора учитываем в системе управления инвертора и в системе управления электроприводом [10]

2.5. Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Расчет характеристик производим, используя параметры схемы замещения.

Найдем синхронную угловую скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \frac{X_{1H} + X_{2H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1H} + X_{2H})^2}}}$$

где $I_2^1(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2^1 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x_{2H}')^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитываются естественные электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$ (рис.8) и $I_1(\omega)$ (рис. 9)

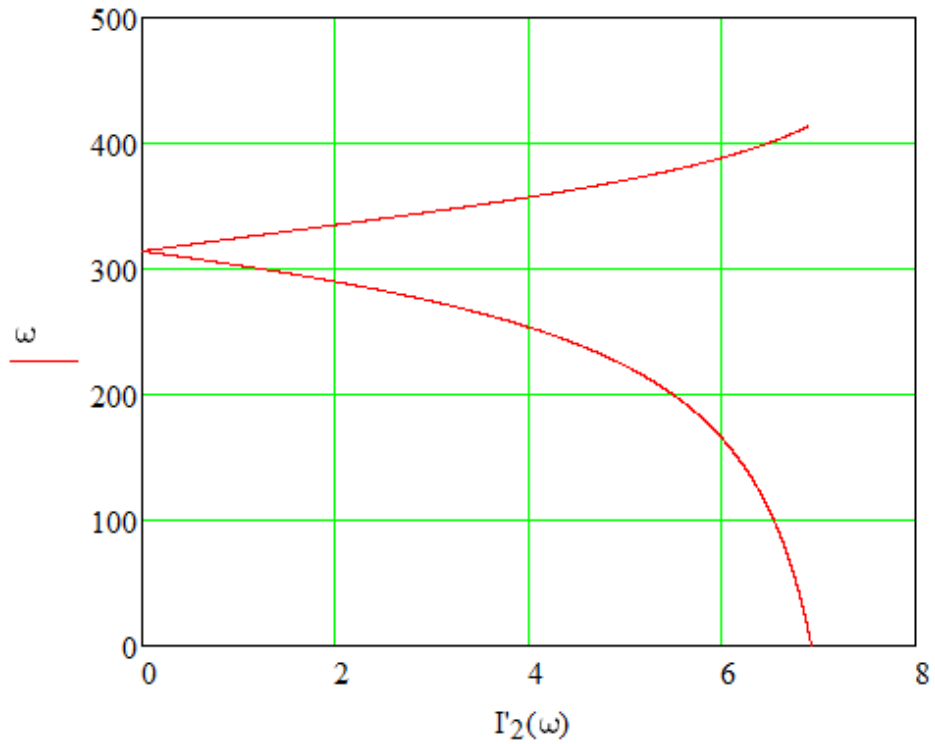


Рисунок 8 - Естественная электромеханическая характеристика для тока ротора $I_2^1(\omega)$

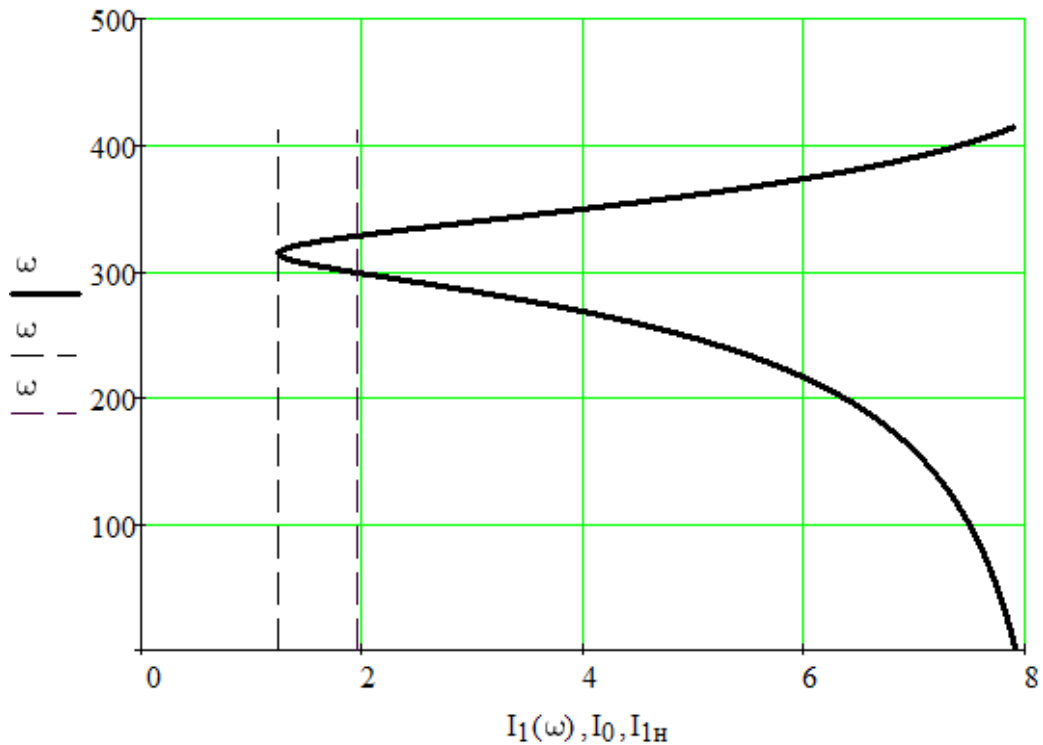


Рисунок 9 – Естественная электромеханическая характеристика для тока статора $I_1(\omega)$

На рис. 9 отмечены параметры электромеханической характеристики:

- пусковой ток двигателя, рассчитанный по паспортным данным:

$$I_{н.р} = k_i \cdot I_{1н} = 5,3 \cdot 1,963 = 10,404 \text{ А};$$

- пусковой ток двигателя, рассчитанный по схеме замещения:

$$I_{н} = 12,179 \text{ А};$$

- скорость холостого хода двигателя: $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$;

- ток холостого хода двигателя $I_0 = 1,246 \text{ А}$;

- номинальный ток статора двигателя: $I_{1н} = 1,963 \text{ А}$;

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику $M(\omega)$ (рис.Рисунок) по следующей формуле:

$$M(\omega) := \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]}$$

На рис. отмечены следующие параметры механической характеристики:

- номинальная скорость:

$$\omega_{\text{НОМ}} = 2810 \text{ рад/с};$$

- номинальный момент:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{850}{294,263} = 2,889 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- критический момент двигательного режима:

$$M_{\text{кр.}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 294,264 \cdot 1,029 \cdot \left[8,064 + \sqrt{8,064^2 + 7,609^2} \right]} = 6,166 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

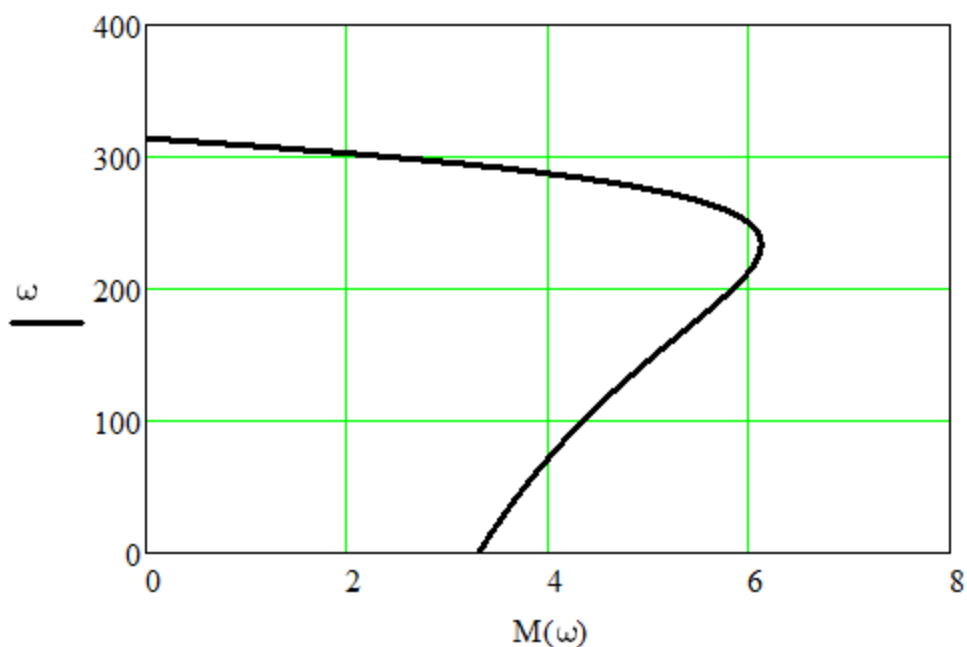


Рисунок 10 - Естественная механическая характеристика двигателя $M(\omega)$

Определение области работы

Нагрузочная характеристика насоса выглядит следующим образом:

$$M_{\text{вал т.2}} = \Delta M_{\text{пост}} + M_{\text{полн}} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{т.2}}}{\omega_n} \right)^x$$

$\Delta M_{\text{пост}} = 0,36 \text{ Нм}$ – момент сил трения;

$M_{\text{полн}} = 1,444 \text{ Нм}$ – момент нагрузки;

$\omega_n = 294,218 \text{ рад/с}$ – номинальная скорость;

$\omega_{\text{т.2}}$ – скорость в текущей точке;

$x = 2$ – степенной коэффициент, учитывающий характер нагрузки.

С учетом закона изменения была построена нагрузочная характеристика двигателя (Рисунок 11):

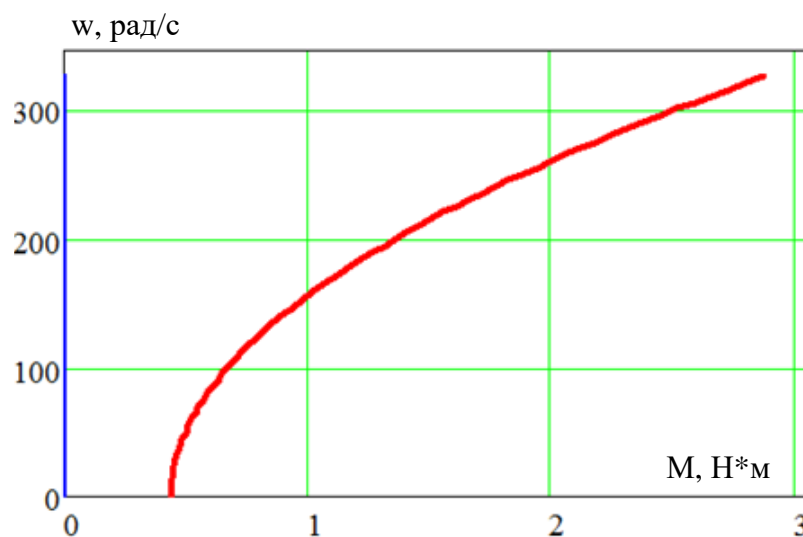


Рисунок 11 – Нагрузочная характеристика двигателя центробежного насоса

С учетом различных заданий построена механическая характеристика в одних осях с нагрузочной (рис. 12). При этом выбран закон управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$:

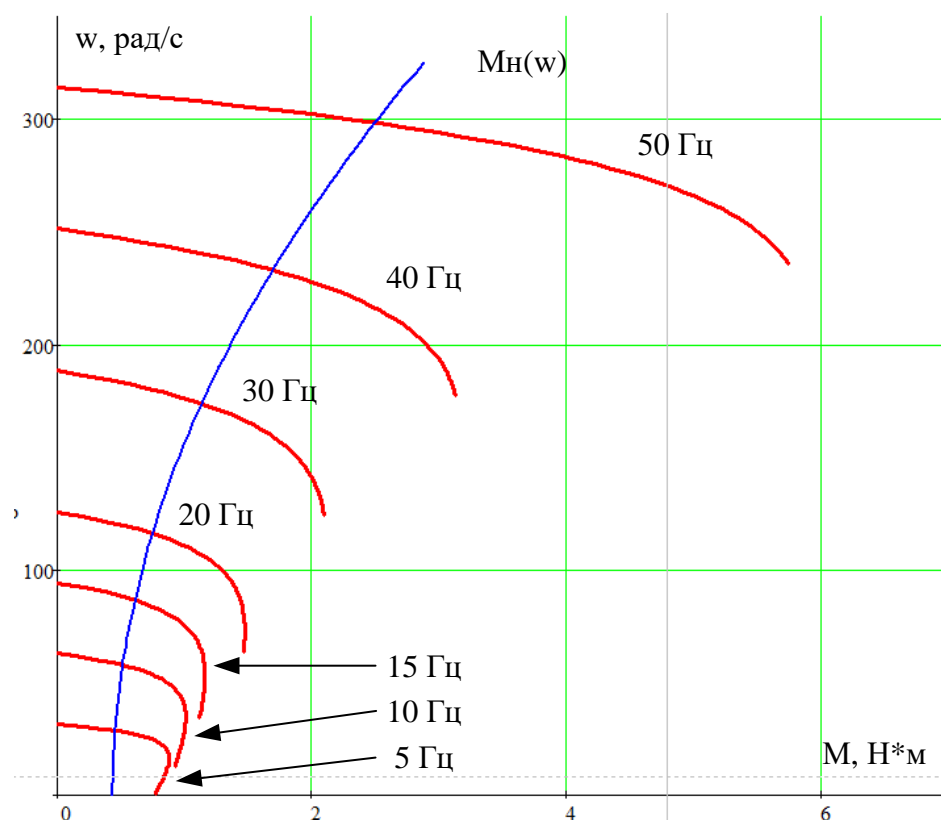


Рисунок 12 – Механическая и нагрузочная характеристики асинхронного электродвигателя центробежного насоса

Как видно из семейства построенных характеристик, в диапазон работы электропривода входит нагрузочная характеристика, построенная ранее. При построении характеристик была использована компенсация момента на малых частотах. Величина добавленного напряжения для каждой частоты равна [10]:

$$\Delta U_1 \equiv 0 \text{ В, при } f_1 = 50 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 0 \text{ В, при } f_1 = 40 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 18 \text{ В, при } f_1 = 30 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 30 \text{ В, при } f_1 = 20 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 30 \text{ В, при } f_1 = 15 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 29 \text{ В, при } f_1 = 10 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 23 \text{ В, при } f_1 = 5 \text{ Гц}$$

Также были построены семейства характеристик для тока статора (рис. 13) и приведенного тока ротора (рис. 14)

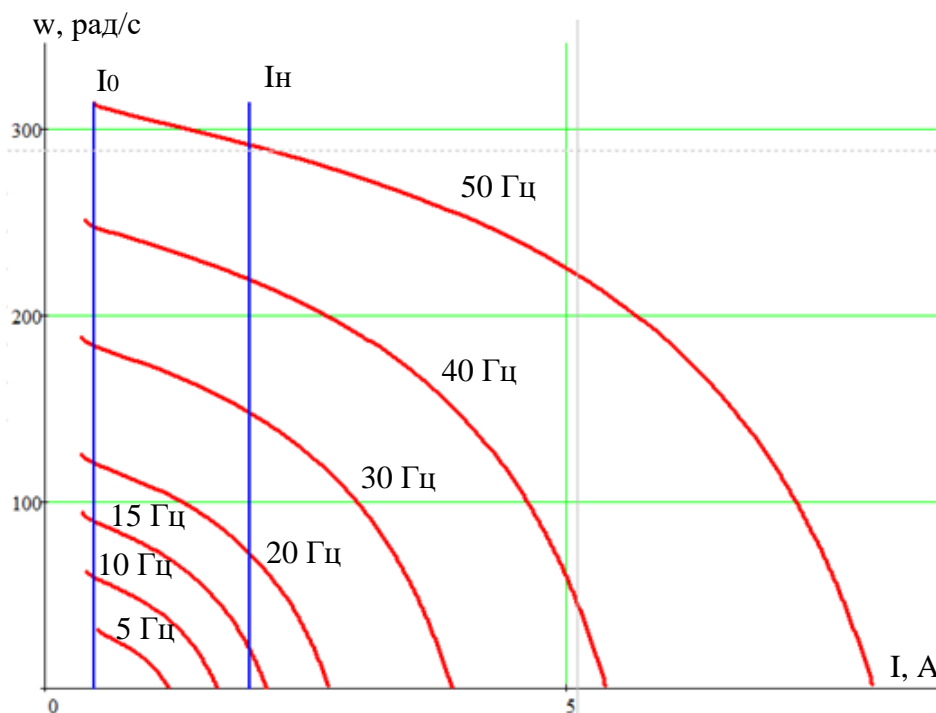


Рисунок 13 – Электромеханическая характеристика тока статора

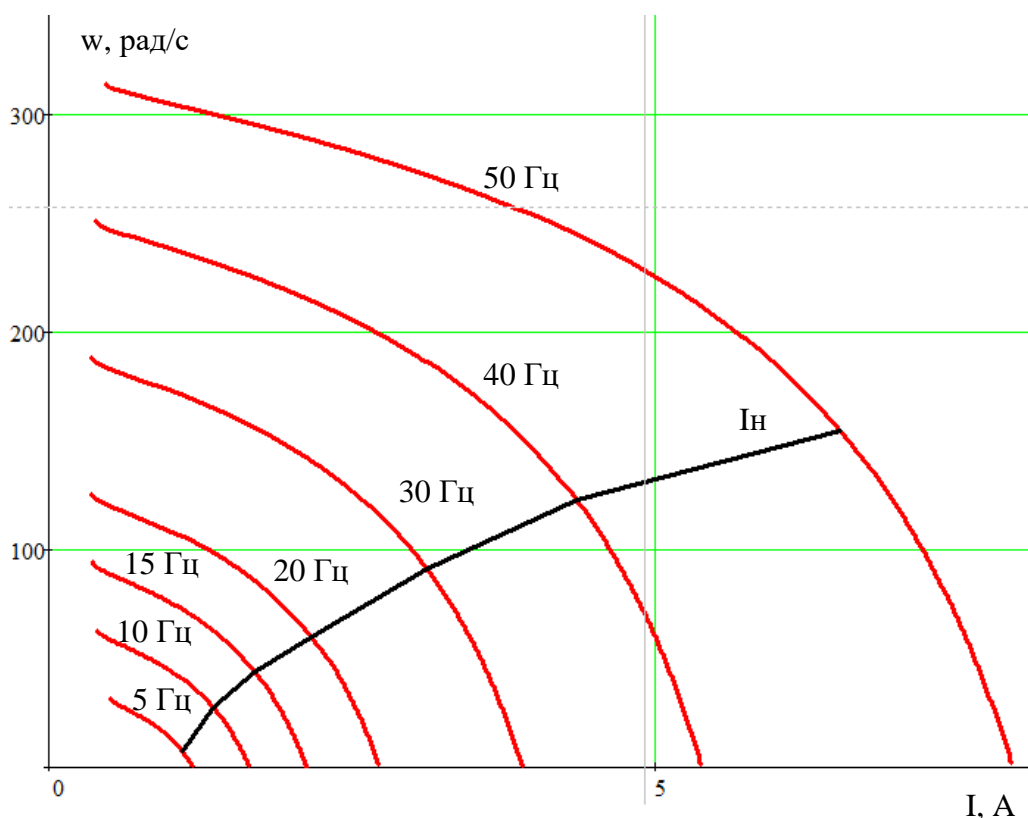


Рисунок 14 – Электромеханическая характеристика приведенного тока ротора

2.6. Выбор функциональной и структурной схемы электропривода

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода центробежного насоса со скалярным управлением приведена на рис. 15. В состав электропривода входят: преобразователь частоты Danfoss VLT 2811, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором входящий в состав насоса Grundfoss. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры задатчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты преобразователя, закон регулирования и коррекция вольт-частотной характеристики [10].

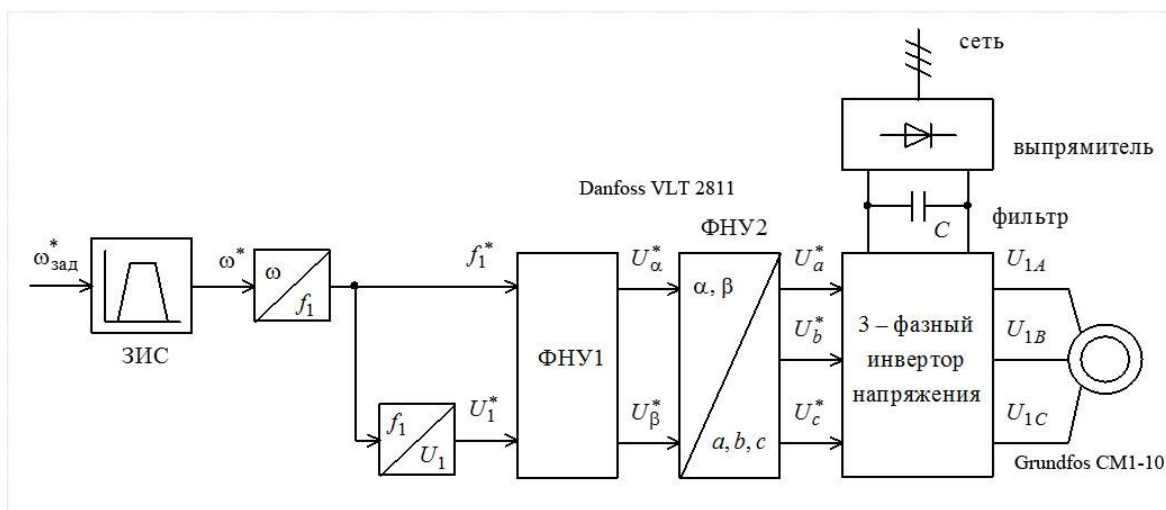


Рисунок 15 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Теоретически и практически доказано, что в классе законов U_{1j}/f_{1j} невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения

На практике наибольшее распространение получили такие способы частотного регулирования скорости как $E_{1j}/f_{1j} = const$, $E_{1j}/f_{1j}^2 = const$, $E_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$. При регулировании скорости в классе законов E_{1j}/f_{1j} необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR-компенсацией [10].

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией приведена на рис. 16

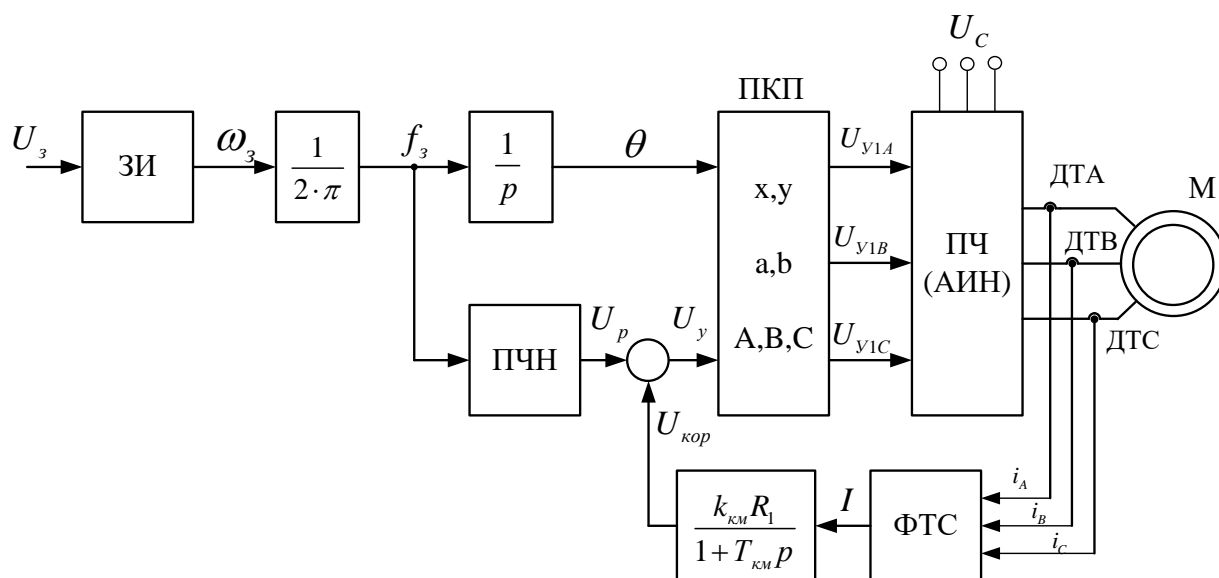


Рисунок 16 - Структурная схема системы скалярного частотного управления с ИР-компенсацией

2.7. Имитационная модель электропривода

в среде *MATLAB Simulink* была разработана имитационная модель асинхронного электропривода с компенсацией момента. Вид имитационной модели представлен на рис. 17.

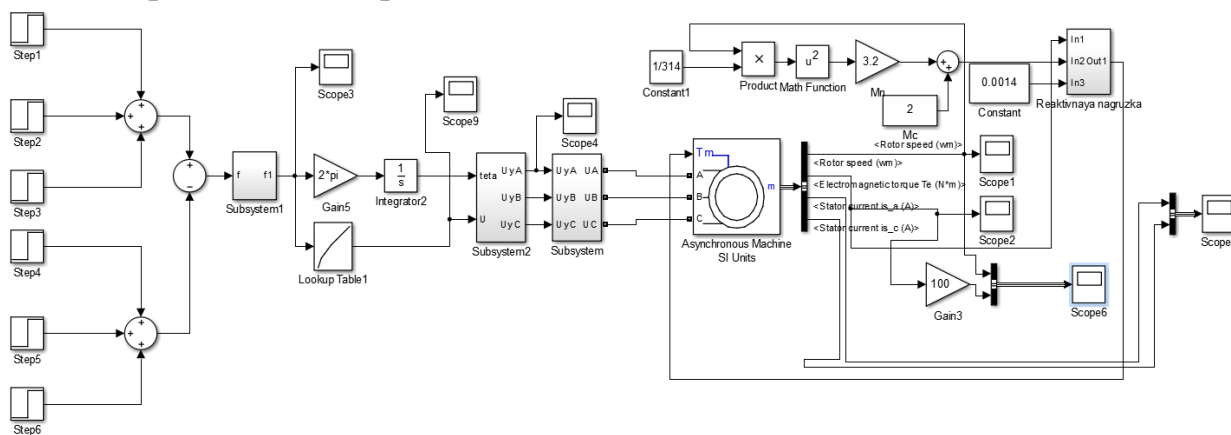


Рисунок 17 – Имитационная модель системы частотного управления со скалярной ИР-компенсацией

На рис. 18 представлена модель прямого координатного преобразователя.

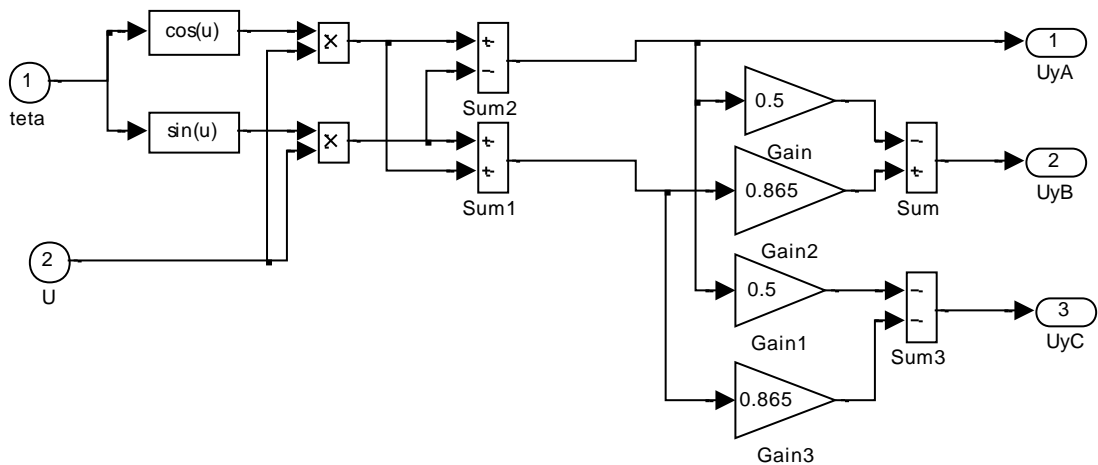


Рисунок 18 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

На рис. 19 представлена модель преобразователя частоты.

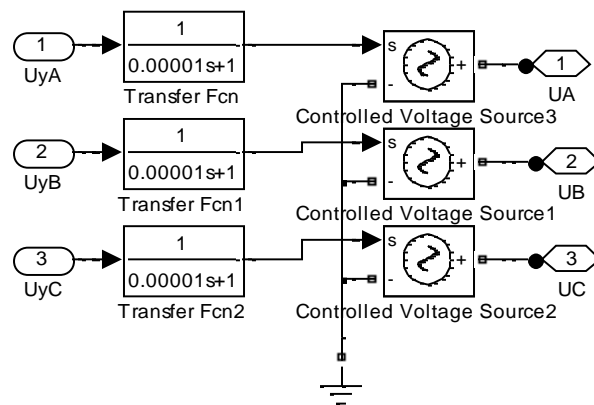


Рисунок 19– Имитационная модель преобразователя частоты

В ходе выполнения моделирования был проведен эксперимент пуска асинхронного двигателя при помощи преобразователя частоты. Эксперименты проводились для частот 5, 20, 50 Гц. При этом, на основании рассчитанных характеристик была задана вольт-частотная характеристика (рис. 20). Временная характеристика полного процесса наброса и сброса нагрузки представлена в приложении 1.

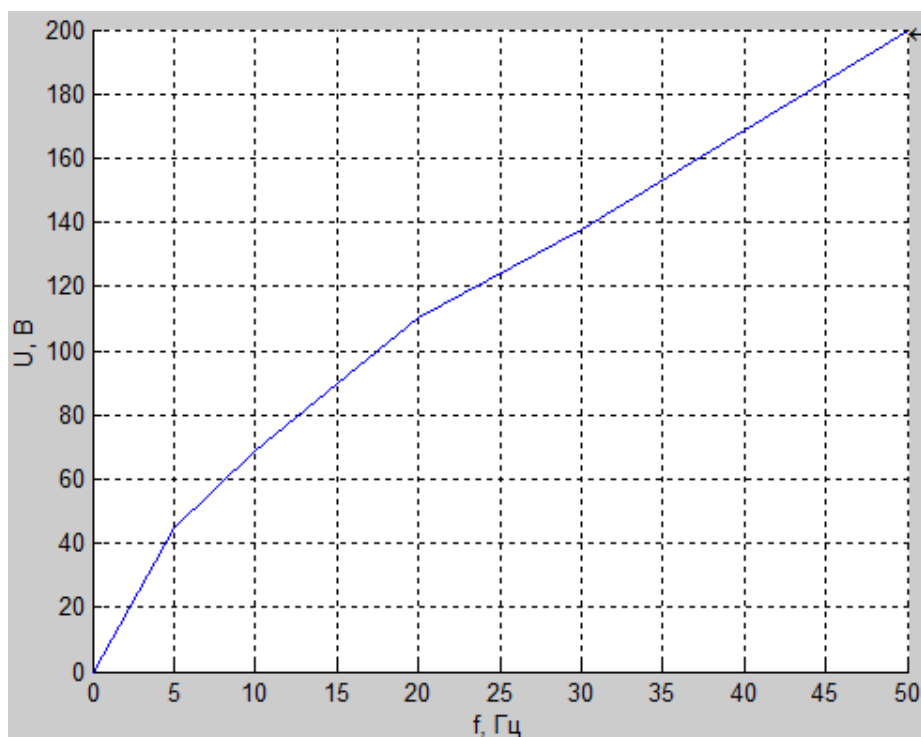


Рисунок 20 – Вольт-частотная характеристика

2.8. Выбор программируемого логического контроллера

В качестве устройства управления выбран программируемый логический контроллер отечественного производителя ОВЕН ОВЕН-ПЛК150 [12] (рис. 21). Контроллер имеет невысокую цену и технические характеристики, достаточные для реализации данного проекта.



Рисунок 21 – ОВЕН-ПЛК150

Технические характеристики ПЛК представлены в приложении Б. Данный вид контроллера программируется в программной среде CoDeSys V2 [13]. Эта среда разработки позволяет создавать структуры при помощи FBD блоков.

2.9. Выбор средств связи.

Для связи между ПЛК и персональным компьютером обслуживающего персонала будет использоваться преобразователь интерфейсов RS-232/422/485 в Ethernet MOXA NPort 5150 [14] (рис.22). Технические характеристики ПЛК представлены в приложении В



Рисунок 22 – MOXA NPort 5150

Выход в интернет осуществляется при помощи сервера последовательного порта производства компании НПО ВЭСТ интернет коммуникатор ВЭСТ-IC [15] (Рис. 23). Данный прибор позволит удаленно подключаться к оборудованию при помощи SCADA-системы с веб интерфейсом с любого устройства, которое может выйти в сеть.



Рисунок 23 – Интернет коммуникатор ВЭСТ-IC

2.10. Выбор датчиков

Выбраны датчики температуры Pt1000. Данные датчики подходят для любых климатических систем, где необходимо измерять температуры в диапазоне от -50 до 250 °С с высокой степенью точности (до 0,2 °С) на длинных расстояниях.

Для работы с давлением выбран дифференциальный преобразователь давления Polar Bear DPM-2500D [17]. Данный преобразователь позволит передавать дифференциальную разность давлений в формате 4 – 20 мА. Характеристики устройства приведены в приложении Г.

3. Разработка математических моделей технологического процесса и технологического оборудования с исполнительными электроприводами;

Электроприводы установок, обеспечивающих определенные климатические условия в помещениях, имеют большие постоянные времени. Связано это с большой инерционностью процессов теплообмена. То же относится и к рассматриваемой системе. Основным исполнительным элементом в установке является асинхронный частотный электропривод. Поскольку переходные процессы в электродвигателе и преобразователе частоты несоизмеримо малы по сравнению со скоростью протекания в рекуперативной установке, поэтому блок «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель» был упрощен. Преобразователь частоты упрощен до апериодического звена первого порядка с постоянной времени $T_{пч} = 0,2$ с., а асинхронный двигатель колебательным звеном с постоянными времени, $T_{ад1} = 0,15$ с и $T_{ад2} = 0,03$ с. (Рис. 24)

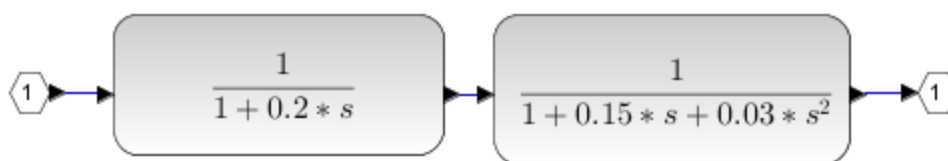


Рисунок 24 – Блок, описывающий работу системы ПЧ – АД в системе

Переход от сигнала напряжения подаваемого с датчиков системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель», к температурному сигналу будет осуществляться с помощью функции:

$$T_{пом} + (T_{вн} - T_{пом}) \cdot K_{эф} \cdot \frac{U}{U_{упр}} = T_{IN}$$

где, $T_{пом}$ – температура помещения;

$T_{вн}$ – температура внешнего воздуха;

$K_{эф}$ – коэффициент эффективности рекуператора

$U/U_{упр}$ – величина, обратная максимальному значению напряжения;

Данная функция показывает, какой величине напряжения будет соответствовать температура на входе с учетом эффективности рекуператора.

Звено, характеризующее процесс изменения температуры представлен колебательным звеном.

$$\frac{1}{1600s^2 + 100s + 1}$$

Данные величины постоянных времени выбраны из описания кривых разгона, представленных специалистами ООО «НПО ВЭСТ».

Процесс нарастания инея описывает апериодическое звено первого порядка с постоянной времени 30 с и коэффициентом пропорциональности 0,0002

$$\frac{0,0002}{30s + 1}$$

3.1. Структурный и параметрический синтез системы управления технологическим оборудованием;

На основании выбранных звеньев математической модели была составлена структурная схема работы АСУ ТП (Рис 25).

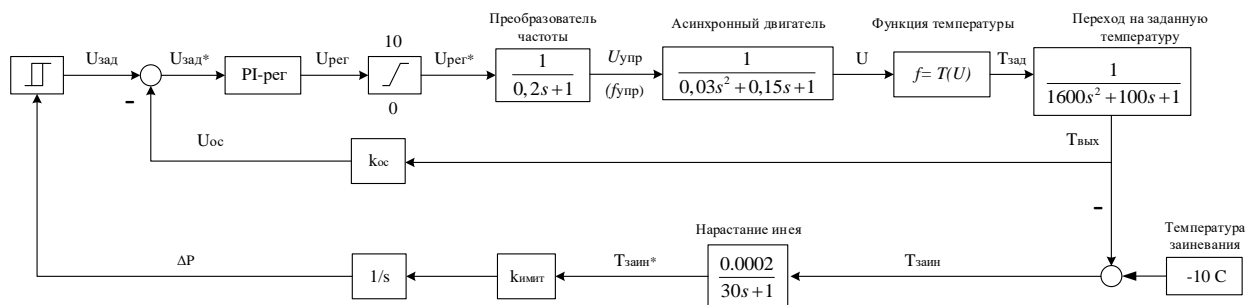


Рис 25 – Структурная схема АСУ ТП

Было решено использовать ПИ-регулятор, так как процесс является довольно затяжным. Основная задача – обеспечить точность.

Расчет параметров регулятора производился по методике Зиглера–Никольса. Данный метод является эмпирическим. Коэффициенты регулятора получились следующими: $k_p = 2,02$, $k_i = 0.011$

3.2. Проверка устойчивости

Полученная модель системы разморозки оказалась рабочей, но для дальнейшего ее использования, необходимо провести проверку устойчивости

Для проверки устойчивости будет использован внутренний контур, изображенный на рисунке 26.

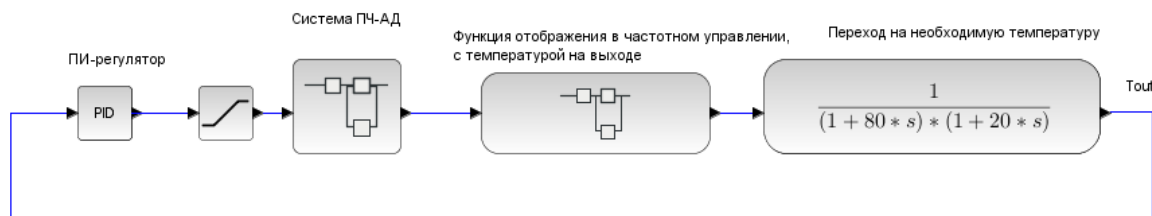


Рисунок 26 – Контур для определения устойчивости

Данный контур выбран исходя из того, что система работает в наиболее неустойчивом состоянии в режиме максимальной эффективности, то есть когда контур разморозки отключен.

Проверка будет производиться в среде CLASSiC 3.01, рабочая схема представлена на рисунке 26.

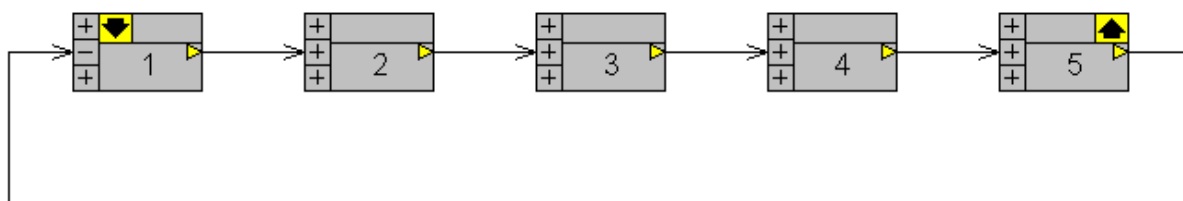


Рисунок 26 – Контур для определения устойчивости в среде CLASSiC 3.01

Первый блок представляет из себя ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{K_p + T_i \cdot s \cdot K_p}{T_i \cdot s}$$

где $K_p = 21$ – коэффициент пропорциональности П-части

$T_i = 84$ с – интегральная постоянная времени

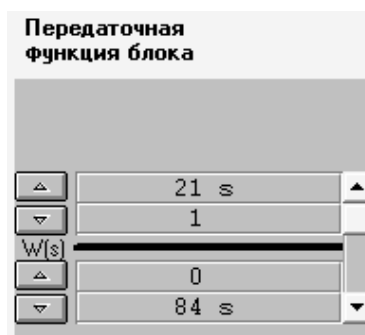


Рисунок 27 – ПИ – регулятор в программной среде CLASSiC 3.01

Второй блок содержит передаточную функцию описывающую асинхронный электродвигатель в данной системе, а также температурную функцию, которая представлена в виде коэффициента пропорциональности равном 0,407.

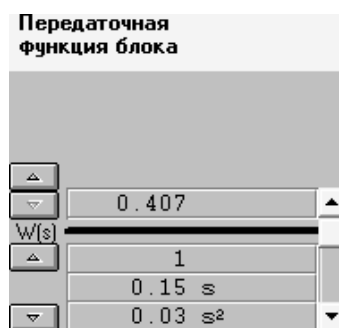


Рисунок 28 – Асинхронный двигатель в программной среде CLASSiC 3.01

Третий блок описывает работу преобразователя частоты.

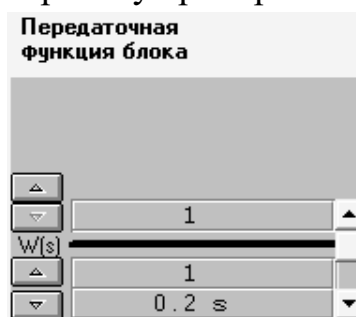


Рисунок 29 – Передаточная функция преобразователя частоты в программной среде CLASSiC 3.01

Четвертый и пятый блоки в совокупности представляют из себя передаточную функцию перехода на необходимую температуру

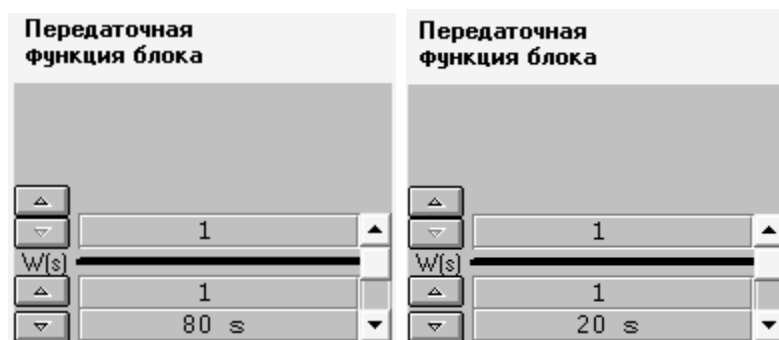


Рисунок 30 – Блоки, описывающие переход на необходимую температуру в программной среде CLASSiC 3.01

Переходный процесс и показатели качества замкнутой системы представлены на рисунке 31.

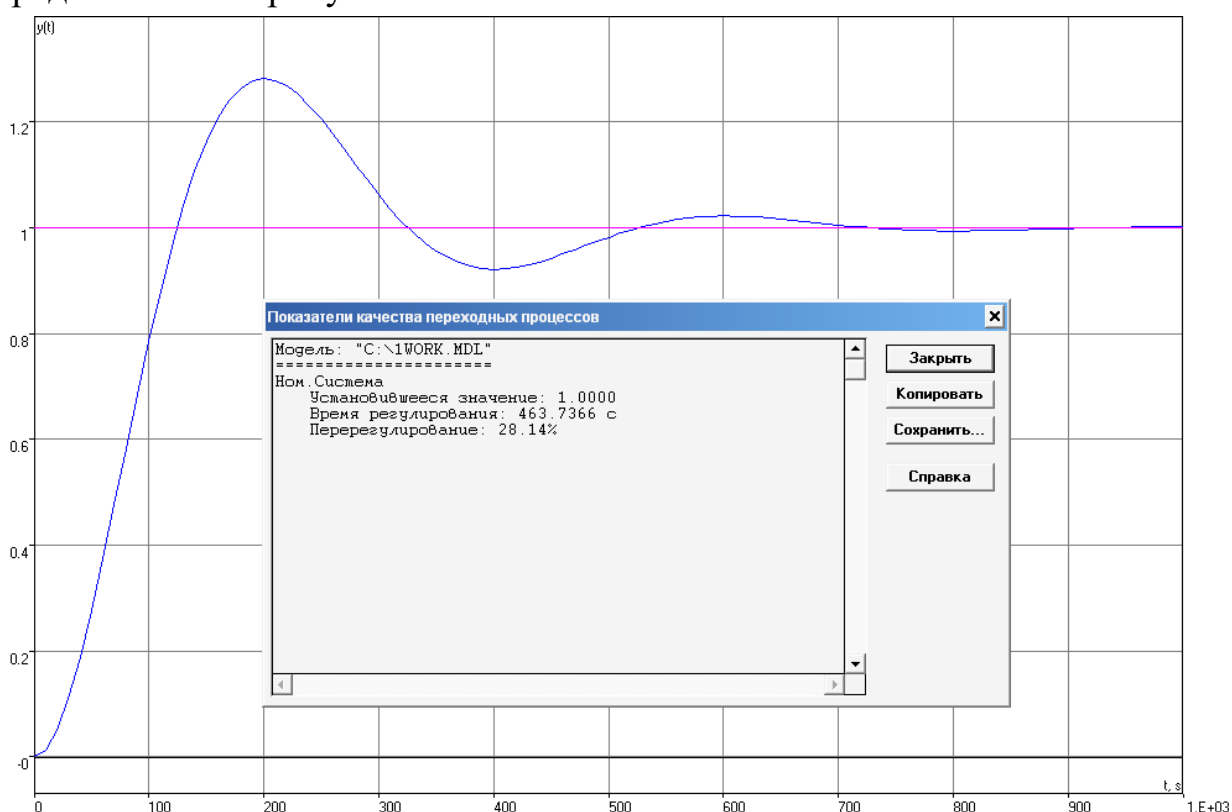


Рисунок 31 – Переходный процесс и его показатели качества в программной среде CLASSiC 3.01

Для оценки устойчивости будет использован критерий устойчивости Найквиста. Для дальнейшей оценки необходимо разомкнуть систему (рисунок 32).

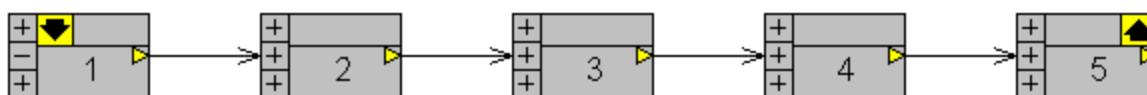


Рисунок 32 – Разомкнутая система.

Далее необходимо построить годограф и определить устойчивость.

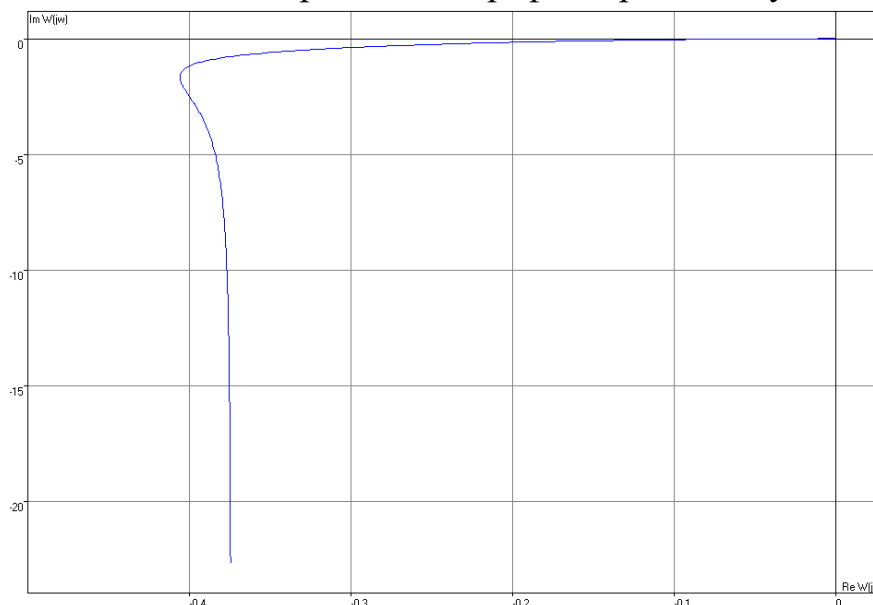


Рисунок 33 – АФХ разомкнутой системы

На основании полученного годографа, можно сделать вывод о том, что система является устойчивой, поскольку критерий устойчивости Найквиста гласит о том, что если корней в правой полуплоскости нет, то годограф $W(j\omega)$ не должен охватить точку $(-1, j0)$. [18] Что соответствует полученным результатам.

Далее необходимо проанализировать частотные характеристики разомкнутой системы, на основании которых можно определить качество оптимизации системы.

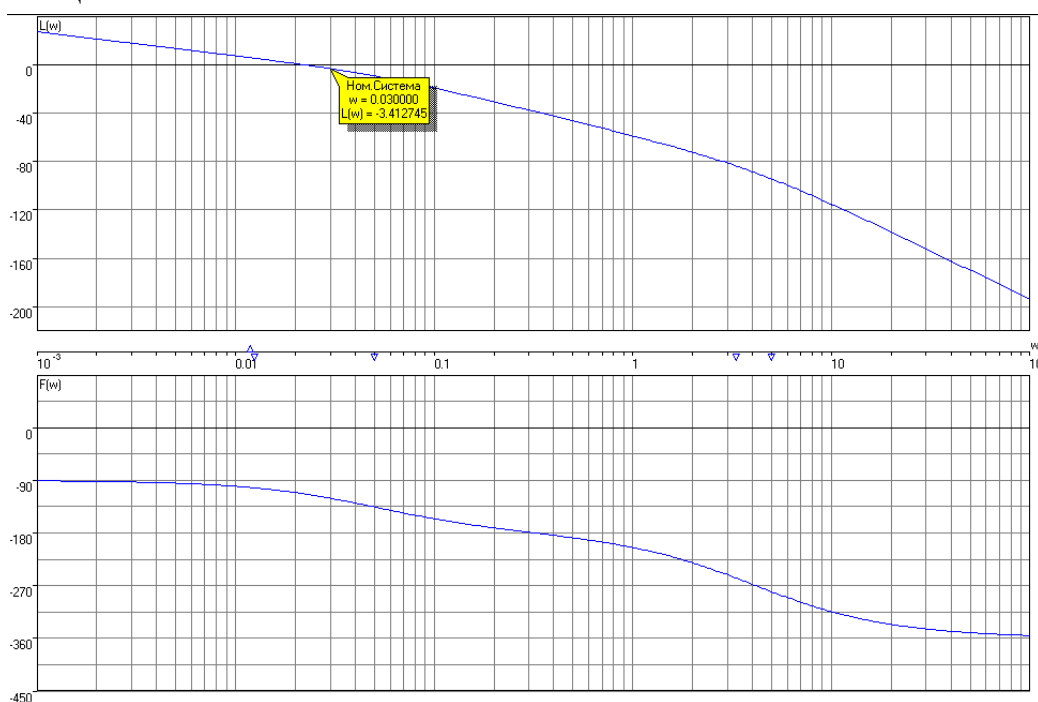


Рисунок 34– ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.

На основании полученных частотных характеристик, можно сделать вывод о том, что система, настроенная на симметричный оптимум, находится ни в самом оптимальном состоянии, так как точка частоты среза смещена относительно симметричного положения между двумя соседними точками сопряжения. Для исправления данного положения, частотную характеристику нужно поднять на 3,41 дБ, для этого нужно ввести в систему корректирующий коэффициент равный:

$$K_{кор} = 10^{\frac{3,4}{20}} = 1,479$$

После внедрения данного коэффициента, коэффициент пропорциональности асинхронного двигателя изменится и станет равным 0,602:

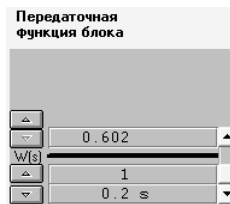


Рисунок 35 – Асинхронный двигатель после оптимизации в программной среде CLASSiC 3.01

Частотные характеристики разомкнутой оптимизированной системы. ЛАЧХ и ЛФЧХ (Рисунок 36).

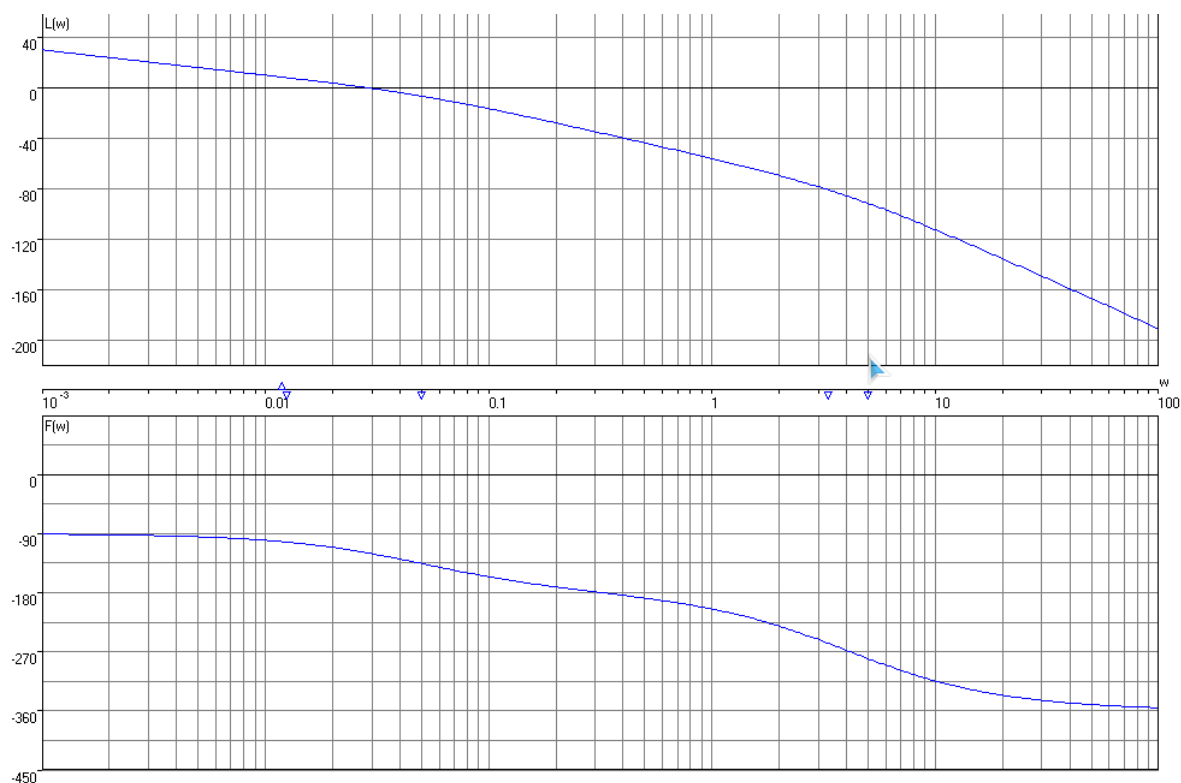


Рисунок 36 – ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.

Как видно из характеристики, после корректировки, частота среза установилась посередине между двумя соседними точками сопряжения, что свидетельствует о том, что система оптимизирована на симметричный оптимум.

Далее, необходимо исправить данный коэффициент, в полной модели, описывающей весь процесс, в программной среде SciLab. Ниже представлены графики до (Рисунок 37) и после (Рисунок 38) корректировки.

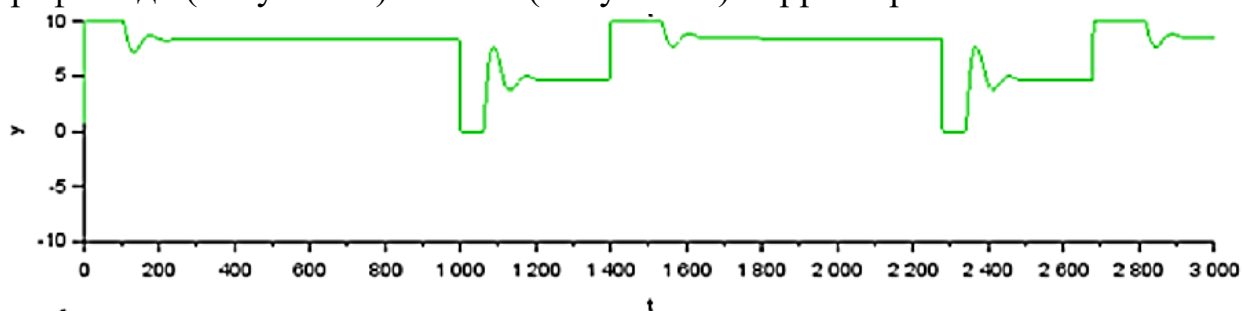


Рисунок 37 – Переходные процессы системы до корректировки

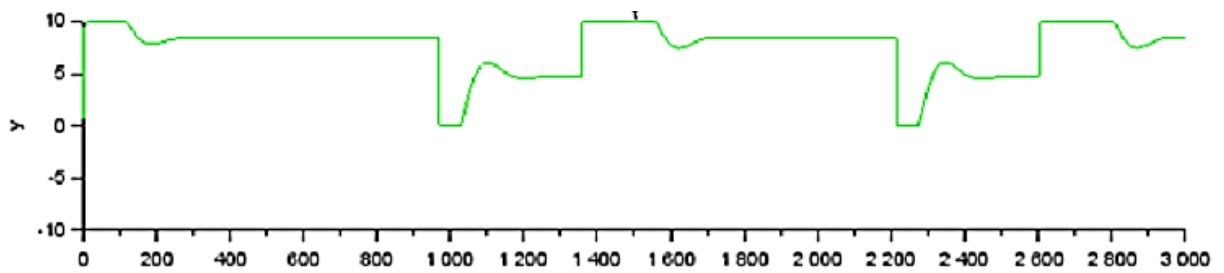


Рисунок 38 – Переходные процессы системы после корректировки

Из переходных процессов, полученных до и после корректировки, видно, что в характеристиках, полученных после корректировки, уменьшились колебательность и перерегулирование.

3.3. Разработка алгоритмов функционирования системы управления технологическим оборудованием;

Основным исполнительным элементом системы будет являться насос, перегоняющий раствор теплоносителя по трубам и выполненный на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Переход на необходимую температуру будет описываться передаточной функцией, описанной выше:

$$W(s) = \frac{1}{(1 + 80s)(1 + 20s)}$$

На выходе у данного звена будет температура T_{OUT} . Данный параметр определяет температуру на выходе вытяжной части установки, соответственно, изменяя эффективность рекуперативной установки, будет меняться температура. В этом и заключается суть работы: потери, полученные из-за неэффективной работы и превращенные в тепло, будут нагревать вентиляционную шахту и плавить иней.

В цепи обратной связи происходит операция сравнения $-T_{ВЫХ}$ и $T_{п.и.}$. При достижении $T_{ВЫХ}$ температуры в -10 С, начинается процесс нарастания иневого слоя на стенках шахты согласно передаточной функции:

$$W(s) = \frac{0.0002}{1 + 30s}$$

Условно, время нарастания инея, при котором передача воздушных потоков ухудшится на 80%, принято $t_{y.v.} = 800$ с. Результат моделирования величины закупоривания инеем канала вентиляции в относительных единицах будет отправлен на гистерезисный элемент, так при достижении величины в 80 % закупоривания, срабатывает звено с гистерезисом. После, необходимая

заданная величина температуры сравнивается с величиной на выходе системы и преобразовывается в сигнал управления для ПИ-регулятора.

Блок-схема алгоритма работы представлена на рис. 39

Здесь, ΔP – перепад давления, $T_{\text{вых}}$ – температура на выходе рекуператора, $T_{\text{зам}}$ – температура, при которой начинает замерзать конденсат, $\Delta P_{\text{ср}}$ – величина перепада давления, при котором срабатывает автоматика

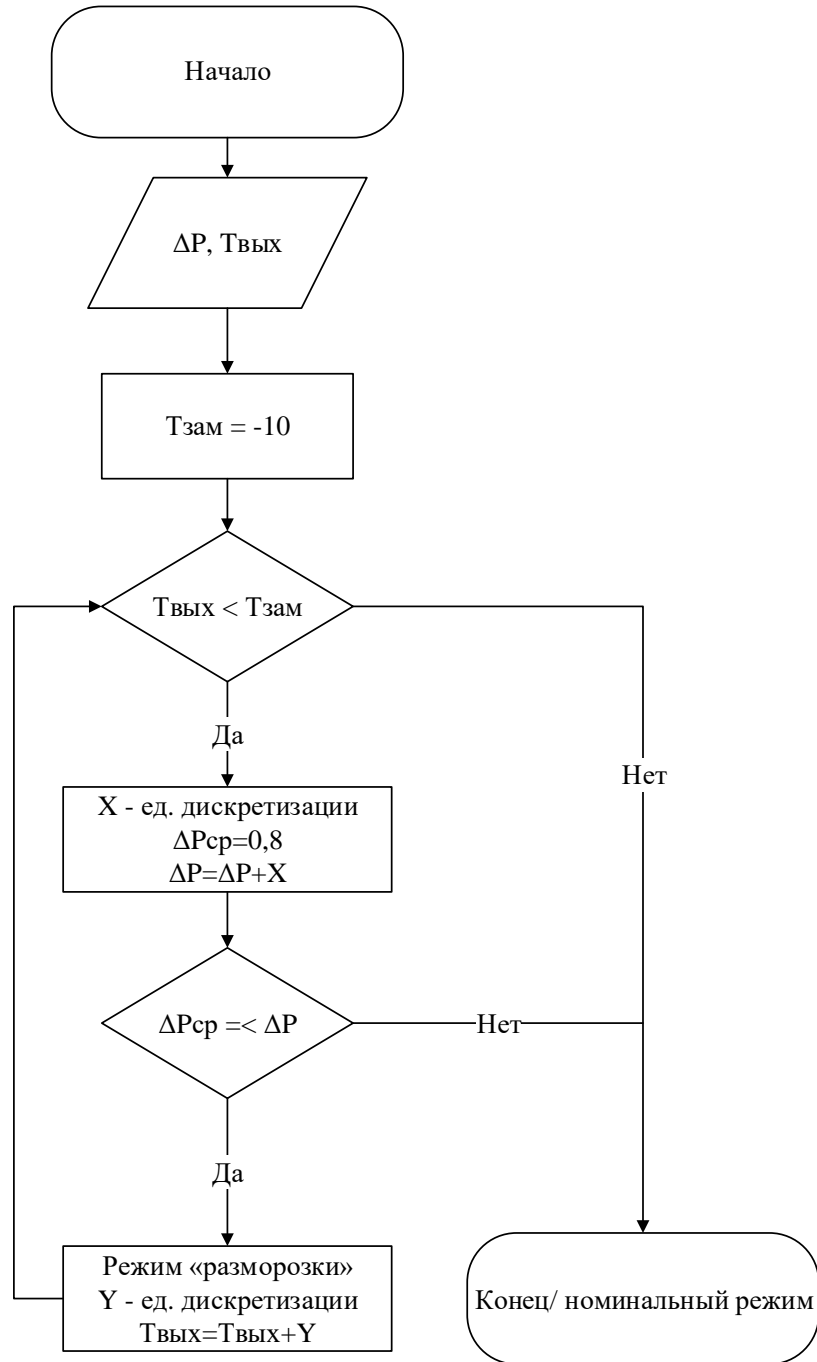


Рисунок 39 – Блок-схема алгоритма работы

Загрузка данной структуры в регулятор, с разработкой различных программных средств управления было реализовано в среде CoDeSys V2.

Процесс разработки и установки программного обеспечения описан в приложении Д

3.4. Компьютерное моделирование алгоритмов управления

На основании структурной схемы, синтезированной в пп 3.2., в программной среде XCos SciLab была собрана модель системы с АСУ ТП рекуперационной системы (Рис. 40).

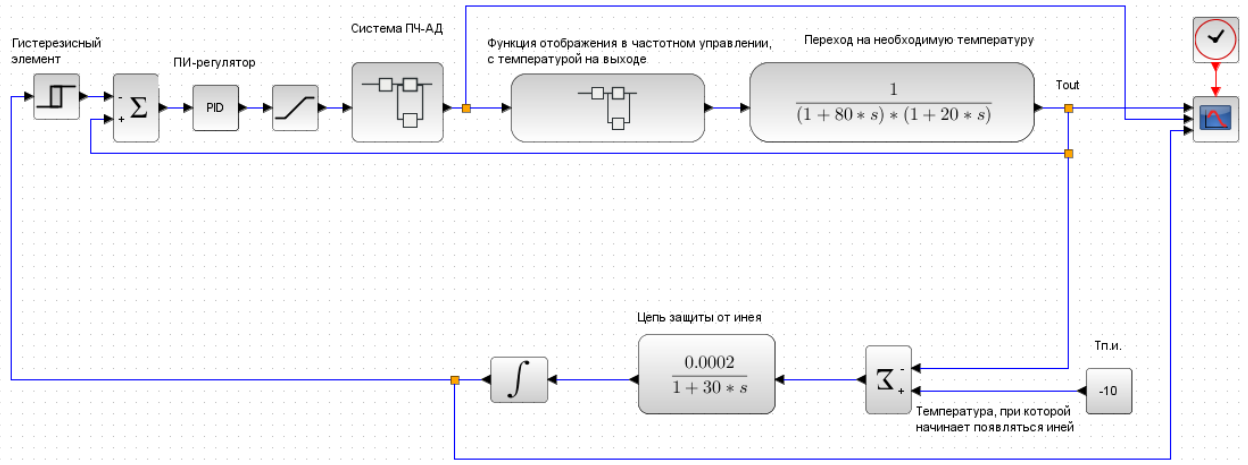


Рисунок 40 – математическая модель АСУ ТП в программной среде SciLab

Результаты моделирования представлены на рисунке 41. Здесь видно, что при достижении величины $p_{fr} = 80\%$ срабатывает автоматика и температура на выходе увеличивается до температуры точки росы, для плавления инея. После очистки канала вентиляции, автоматика возвращается в нормальное состояние.

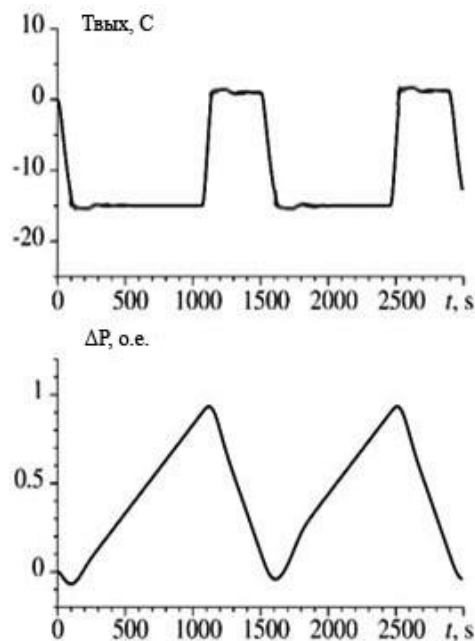


Рисунок 41 – Результат моделирования системы без помех

Однако в реальных условиях из-за влияния множества внешних факторов, качественно оценить степень заиневания непосредственно на основании датчика перепада давления оказалось невозможным. Измеренное значение перепада давления в реальной системе включает в себя значительные помехи от механической части системы рекуперации. Данная проблема стала причиной случайных переключений между режимами. Переходные процессы полученные в результате моделирования системы (Рис. 42) с воздействием помех представлены на рис. 43.

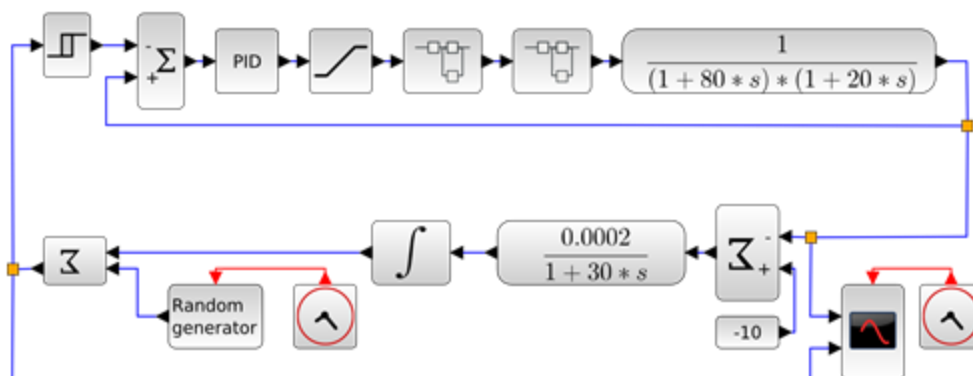


Рисунок 42 – математическая модель АСУ ТП в программной среде SciLab с имитацией помех

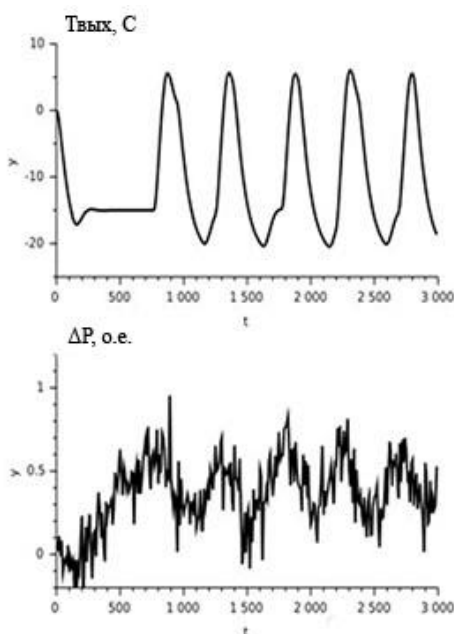


Рисунок 43 – Результаты моделирования детерминированной системы с учетом помех.

Для решения этой проблемы датчик заиневаания может быть представлен в виде дифференциальных уравнений или динамической модели. Подобный метод оценки позволяет наблюдать тенденцию изменения процесса нарастания инея, благодаря использованию переменных состояния. Данное решение позволит эффективно реализовать системы управления с оттаиванием, поскольку математическая модель процесса не подвержена помехам от механической части системы.

3.5. Наблюдатель переменных состояния процесса заиневаания

Основным показателем, влияющим на процесс образования инея, является температура внешней среды. Так, при определенной величине данного параметра начинается процесс заиневаания. Помимо температуры внешнего воздуха непосредственное влияние на процесс заиневаания оказывает влажность воздуха в установке. При очень сухом воздухе температура образования инея может опускаться до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при чрезмерно влажном, температура заиневаания едва опускается ниже температуры точки росы. Данная связь между температурой и влажностью была замечена при эксплуатации автоматической системы рекуперации в Якутии (Россия).

Основной задачей представленной модели является нахождение момента переключения из одного режима в другой, на основании величины образованного инея. В целом другие величины, влияющие на модель исследованы не были, так как они не оказывают особого влияния на автоматику.

На рис. 44 представлена структурная схема системы с наблюдателем переменных состояния процесса заиневаания.

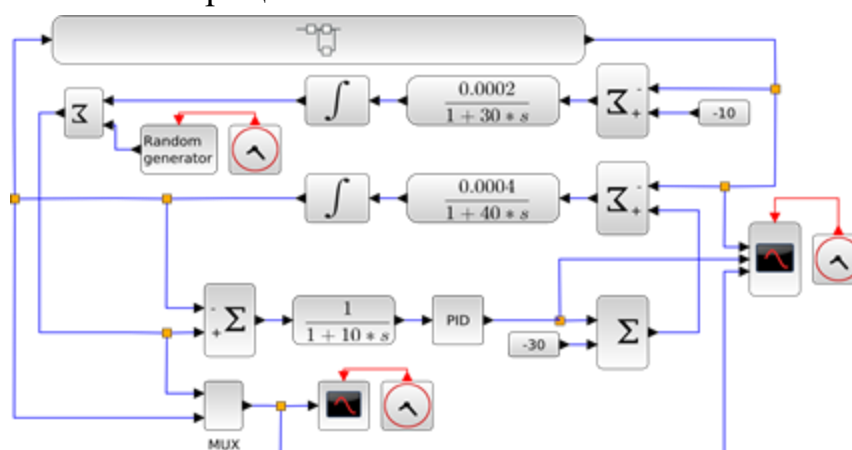


Рисунок 44 – Структурная схема с наблюдателем переменных состояния

Приведена эталонная модель, где динамические характеристики эталонной модели отличаются от принятой в системе без помех. В частности, скорость образования инея завышена в два раза, а время инерции увеличено

на треть. В систему добавлен контур подстройки температуры образования инея, включающий в себя демпфирующее звено и ПИД регулятор. Целью замкнутого контура является подстройка такой системы, при которой демпфированное рассогласование стремится к нулю.

Как видно из рисунка компенсирующее значение на выходе ПИД регулятора должно составлять 20 С, но в силу того, что параметры модели значительно отличаются от параметров объекта, описывающего процесс заинеивания, абсолютного совпадения не наблюдается. Тем не менее, основная цель решения проблем ложного срабатывания гистерезисного элемента решена и можно наблюдать восстановление работоспособности контура оттаивания. Действительно, процессы перехода из режима в режим практически соответствуют рис. 41 и в них отсутствуют ложные срабатывания, которые наблюдаются на рис. 43.

В результате структурная схема системы с наблюдателем переменной состояния степени заинеивания обеспечивает качественную оценку реальной степени заинеивания по достаточно шумному значению перепада давления на теплообменнике.

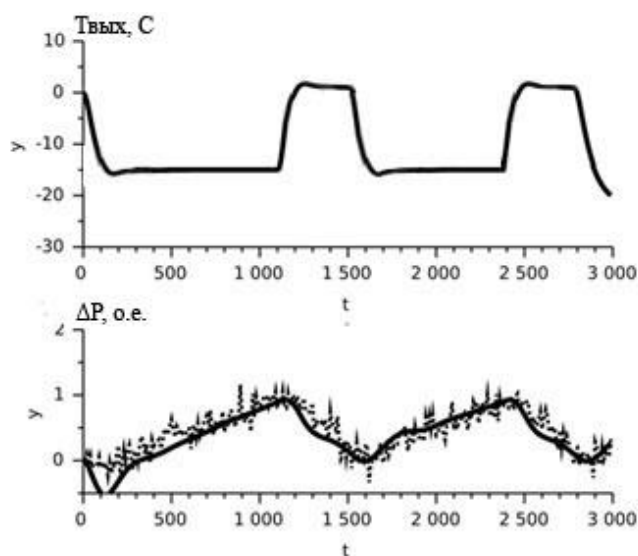


Рисунок 45 – Перепад давления и оценка степени заинеивания

В некоторых системах могут встречаться задачи, где требуется измерение не прямых физических величин для организации технологического процесса или автоматической системы. Данные физические величины могут иметь вполне понятные связи с величинами, которые можно измерить стандартными датчиками в условиях внешних воздействий и описать в виде дифференциальных уравнений. В таких случаях требуется сложная методика оценки значения нетривиальной физической величины с учетом как

статических, так и динамических связей. В этих условиях достаточно сложно найти в научной и технической литературе подходящий прототип решения.

В данной работе представлена методика выполнения подобных задач, которую можно применить в других технологических объектах, где требуется измерение оригинальных физических величин. Также материал отчета может быть полезен специалистам в области синтеза автоматических систем рекуперации.

4. Социальная ответственность.

Введение

Данный раздел магистерской диссертации посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: отклонение показателей микроклимата в помещении, повышения уровня шума, превышение электромагнитных и ионизирующих излучений. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Объектом исследования является математическая модель рекуператора воздуха в системе вентиляции в режиме разморозки инеевых наростов. Данная разработка может использоваться при разработке программного обеспечения для программируемых логических контроллеров, управляющих системами рекуперации в жилых и нежилых помещениях.

4.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Магистерская диссертация выполнялась в помещении, в городе Томске.

Общая площадь рабочего помещения составляет 18 м^2 (длина $A=4\text{ м}$, ширина $B=4,5\text{ м}$), объем составляет 45 м^3 (высота $C=2,5\text{ м}$).

По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют $6,5\text{ м}^2$ и 20 м^3 объема на одного человека [20]. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

К вредным факторам в помещении следует отнести:

1. Микроклимат
2. Повышенный уровень шума
3. Источники электромагнитного излучения
4. Не соответствующий уровень освещенности над рабочей поверхностью

1. После проведения анализа габаритных размеров кабинета, был рассмотрен микроклимат в этом помещении.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основной недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН

2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³ [20]. В данном случае объем воздуха на одного человека составляет 45 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Помещение относится к I а категории (с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением), поэтому должны соблюдаться следующие требования, приведенные в таблице 1:

Таблица 1 – Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных помещений с использованием ПЭВМ [1]

Температура, °С	Относ. влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	< 0,1
20	58	< 0,1
21	55	< 0,1

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ. [20]

Для создания и автоматического поддержания в помещении независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление

Наиболее распространенные в производстве вредные факторы:

2. Шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ, периферийные устройства, шум извне. Уровень шума колеблется от 35 до 40дБА. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50дБА [20]. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует выше указанным нормам. В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дБ);
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);

- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;

- рациональная планировка помещения.

3. Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2.542-96 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. [20] Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. [20]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer 5750G со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В [21].

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 конструкция ВДТ и ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч(100мкР/ч). Предел дозы облучения для работников ВЦ (операторы, программисты) составляет 0,5 бэр/год [20]. При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы в течении полутора часов работы, применять защитные экраны. Защитный экран, изготавливаемый из мелкой сетки или стекла, собирает на себе электростатический заряд. Для снятия заряда экран монитора заземляют.

4. Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света используется люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0[20] освещенность рабочего стола должна быть не менее 300÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. За счет

правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Расчет освещения

В помещении используется совместное освещение – искусственное и естественное (через окна). Система освещения общая. Использована люминесцентная компактная лампа (мощность 150 Вт). Выбор типа светильника производится с учетом следующих основных факторов:

- требуемое количество освещения;
- безопасность эксплуатации;
- удобство;
- экономичность.

Для определения необходимого количества ламп и выбора их типа ниже произведен расчет общего искусственного освещения люминесцентного освещения.

Дано помещение с размерами: длина $A=4$ м, ширина $B=4,5$ м, высота $H=2,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп}=0,6$ м.

Коэффициент отражения стен $R_{ст}=50\%$ и потолка $R_{п}=70\%$ для данной комнаты имеют следующие значения. Коэффициент запаса $k=1,5$, коэффициент неравномерности $Z=1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Приняв свет светильника $h_c=0,2$ м и $\lambda=1,4$ (для ОД) получаем:
(h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью)

$$h = 2,5 - 0,6 - 0,2 = 1,7 \text{ м.}$$

$$h = H - h_p - h_c$$

(L – расстояние между светильниками)

$$L/3 = 0,78 \text{ м.}$$

$$L = h * \lambda = 1,7 * 1,4 = 2,38 \text{ м}$$

Таким образом, размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду необходимо установить 2 светильника типа ОД мощностью 30Вт (с длиной 0,933м). План размещения светильников показан на рисунке 1.

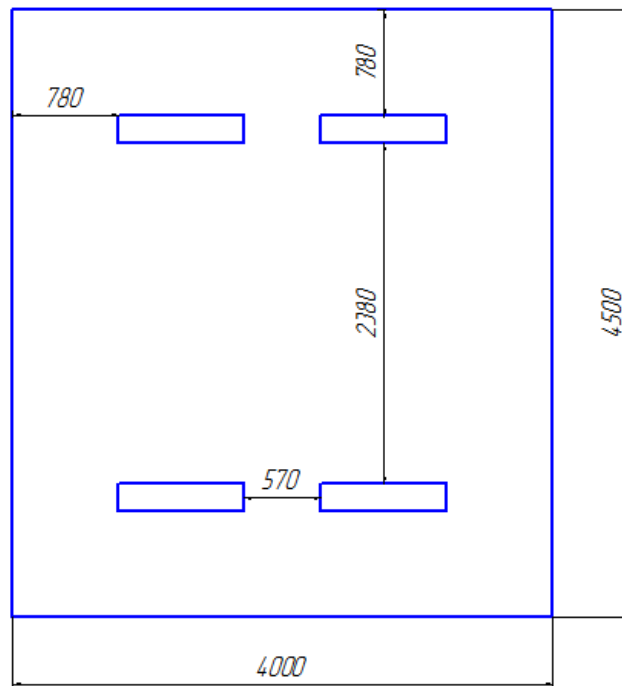


Рисунок 46- План размещения светильников

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп $N=8$.

Находим индекс помещения:

$$i=18/1,7(4+4,5)=1,25$$

$$i = \frac{S}{h(a + b)}$$

По таблице [4] находится коэффициент использования светового потока:

$$\eta=0,53$$

По табл. определяем, что нормированная освещенность по СНиП 23-05-95 [22] для зрительной работы высокой точности $E_t=300-200\text{лк}$ (выбирается $E_t=300\text{лк}$).

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F=300*18*1,5*1,1/8*0,53=1903 \text{ Лм}$$

$$F = \frac{E_t \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot n}$$

По таблице [23] выбирается ближайшая стандартная лампа – ЛД 40Вт с потоком 2300 Лм.

Проверку по формуле:

$$-10\% \leq (F_{\text{л.станд}} - F_{\text{л.расч}}) / F_{\text{л.станд}} \leq +20\%$$

Получается:

$$-10\% \leq 17,26\% \leq +20\% \text{ (подходит)}$$

Электрическая мощность осветительной установки равна:

$$P=8*40=320 \text{ Вт}$$

Нервно-эмоциональное напряжение при работе на ПК возникает вследствие монотонного режима работы, поэтому необходимо делать перерывы во время работы.

4.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды

1. Наиболее опасным фактором в помещении может быть поражение электрическим током.

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к помещениям без повышенной опасности (сухое, беспыльное, с нормальной температурой воздуха и изолированными полами). [21]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- Рода и величины напряжения и тока
- Частоты электрического тока
- Пути тока через тело человека
- Продолжительности воздействия на организм человека

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- Прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.
- Нерегламентированное использование электрических приборов.
- Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

В течении работы на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность

электростатического поля составляет 60-280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряжённости применять применение увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытия пола.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера корпус может оказаться под напряжением, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого я предлагаю обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Электробезопасность в лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе. Также производится своевременный осмотр

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление, а также изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам с общим рубильником (автоматическим выключателем). Сопротивление заземления 4 Ом, согласно [20] для электроустановок с напряжением до 1000 В.

4.3. Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

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

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке; [25]

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоиться заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.

- Узнать, насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку. (Томская утилизирующая компания – Отслужившая бытовая техника, CD-диски, пенопласт, магнитную ленту от аудио-, видеокассет; Компания «Экотом» – Люминесцентные и ртутьсодержащие лампы, ртутные термометры).

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники. [24]

4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 12.1.004-91 ЧС [26] - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

В качестве наиболее часто встречающейся чрезвычайной ситуации, будет рассмотрено возникновение пожара

1. Возникновение пожара

В помещении, где производилась магистерская диссертация, имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории В.2 согласно НПБ 105-03 [10].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия [26]:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильными размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

- Противопожарный инструктаж проживающих;
- Обучение проживающих правилам техники безопасности;
- Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
- Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, автомат, в электрическом шкафу, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и на достигаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей. План эвакуации представлен на рисунке 47.

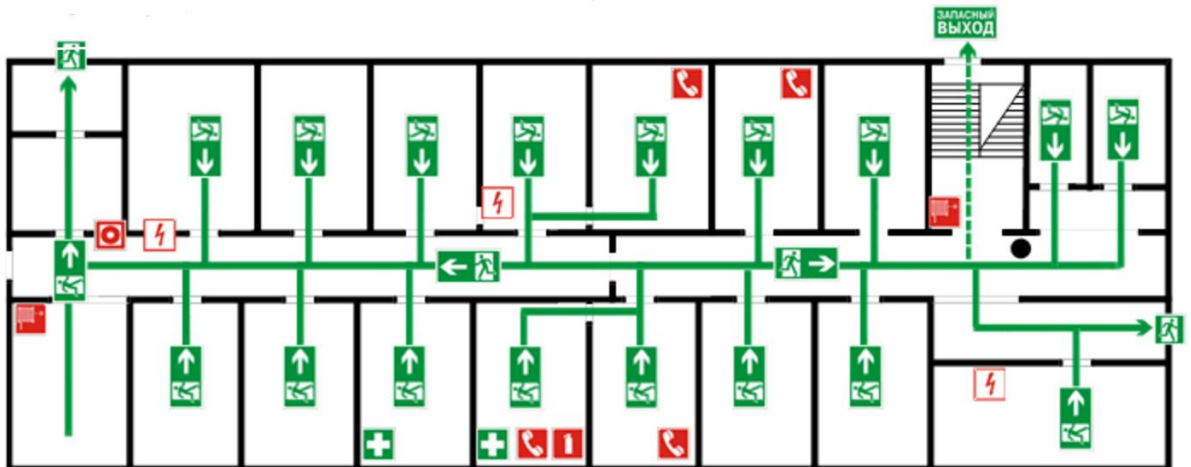


Рисунок 47 – План эвакуации из помещения


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ			
	Направление движения к эвакуационному выходу		
	Путь к основному эвакуационному выходу		
	Путь к запасному эвакуационному выходу		
	Кнопка включения средств и систем пожарной автоматики		
	Аптечка первой медицинской помощи		
	Эвакуационный выход		Пожарный кран
	Телефон		Огнетушитель
	Вы находитесь здесь!		Электрощит

Рисунок 48 – Условные обозначения плана эвакуации

4.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [20] при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип

рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места [27].

При разработке программы пользователь работает на ПЭВМ более 50% рабочего времени.

На рисунке 49 показана схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при работе на ПЭВМ при постоянной работе.

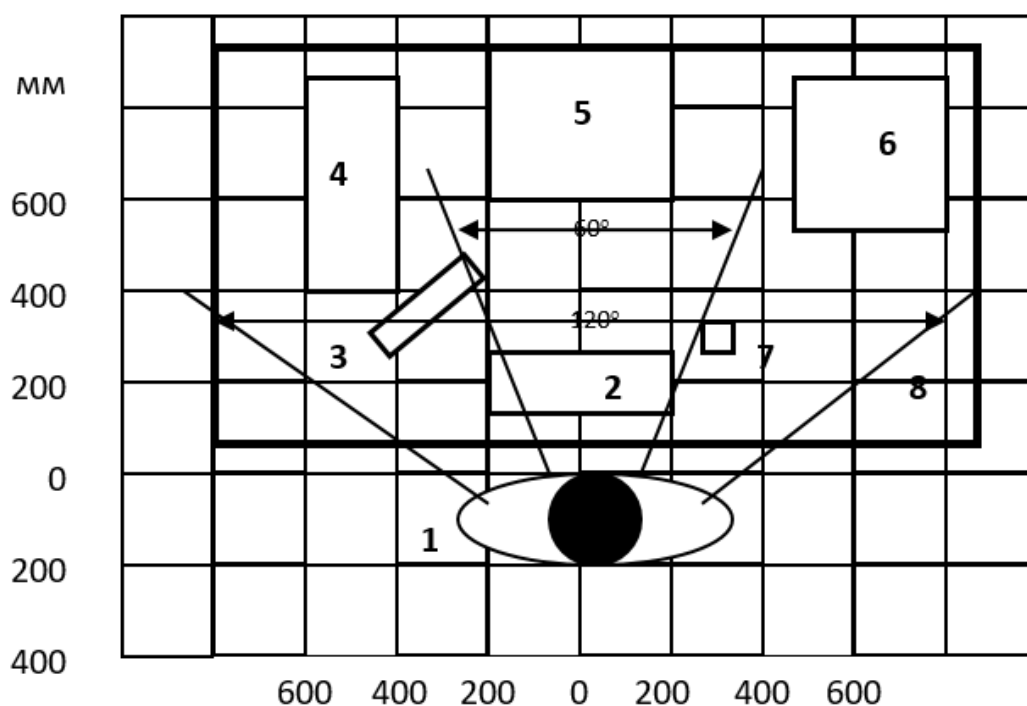


Рисунок 49 – Схема расположения технических средств на рабочем месте пользователя при постоянной работе на ПЭВМ

1 – кресло оператора ПЭВМ. 2 – клавиатура. 3 – подставка для исходной информации. 4 – системный блок. 5 – монитор. 6 – принтер. 7 – мышь. 8- стол.

При организации рабочего места пользователя следует учитывать данные антропометрии, т.е. движения должны быть сконцентрированы так, чтобы группы мышц были нагружены равномерно и исключены лишние произвольные движения.

При организации рабочего места следует учитывать удобство положения дисплея, клавиатуры, системного блока, а также зоны досягаемости рук, которые установлены на основании антропометрических данных человеческого тела и дают возможность рационально разместить как по горизонтали, так и по вертикали монитор, клавиатуру, системный блок, устройства и т.п.

К правовым аспектам безопасности следует отнести обеспечение рабочим местом.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации [28] сотрудник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На современных предприятиях, в офисах, в цехах для комфортной работы необходимо обеспечить помещения достаточным воздухообменом. Вентиляция, полностью заменяющая объемы воздуха в помещении без каких-либо средств поддержания тепла, является крайне неэкономичной, т.к. не сохраняет энергию и вновь прибывший воздух приходится приводить (охлаждать или нагревать) к необходимой температуре. Решением данной задачи являются рекуперативные установки, внедренные в системы воздухообмена.

Рекуперация тепла - это процесс возврата тепла, процесс его получения назад. Т.е. поступающий воздух нагревается теплом удаляемого

В данной части магистерской диссертации будет рассмотрена рекуперативная установка, которую бы стоило внедрить в систему вентиляции для улучшения ресурсоэффективных показателей и экономии энергии.

Данная установка может быть использована, как в крупных помещениях производственных цехов, так и в обычных жилых квартирах и домах

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию величины и вида обслуживаемого помещения, т.к. для различных объемов помещения, требуется вентиляционные и рекуперативные установки соответствующей мощности.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено на рисунке 50.

	Жилые квартиры	Офисные помещения	Цеха
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			

Фирма А		Фирма Б	
---------	--	---------	--

Рисунок 50- Карта сегментирования рынка разработок для систем вентиляции

Результаты сегментирования:

Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для офисных помещений, а также пуско-наладка устройств для всех типов помещений;

Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством вентиляционных систем и систем рекуперации, для небольших жилых помещений;

Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством вентиляционными системами и системами рекуперации для больших производственных цехов.

2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в приложении 3.1.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итог анализа:

Уязвимость позиции конкурентов обусловлена тем, что у них не имеется разработок для частных клиентов (малых жилых помещений), а также для цехов предприятий.

Данные вентиляционные установки с рекуперативными установками являются высокоэнергоэффективными, а также, в системе используется частотно регулируемая система, что гарантирует надежную работу и простоту в управлении, а также возможность легкой настройки для автоматических режимов работы.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности. Также большую долю рынка занимают клиенты, заинтересованные в установке в частные жилые помещения подобные установки, что не смогут обеспечить другие компании.

3. Технология QuaD

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценку проводим в табличной форме (приложение 3.2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{cp}} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Значение показателя P_{cp} получилось от 69 до 40 – то перспективность средняя.

Разработка данных технологий для внедрения в частные дома, кажется довольно перспективной, но из-за некоторых недостатков система получила результат средней перспективности. Для большего распространения необходимо сделать некие маркетинговые ходы, поскольку не многие знают о подобных разработках. А также необходимо искать решения в альтернативных, более дешевых, материалах, которые могут быть использованы взамен, тех дорогих, которые используются сейчас.

4. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап составление предварительной SWOT-матрицы (Приложение 3.3).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей

среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в приложении 3.4.

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в приложении 3.5.

Из данного анализа можно сделать вывод о том, что данная система является довольно перспективной, так как является очень простой в управлении, а также высокоэнергоэффективной. Среди недостатков следует выделить проблемы с материалами, а также возможность заполнения ниш потенциальными конкурентами, так как данное направление в настоящее время активно развивается.

5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Разработка находится на стадии получения конечного продукта, исходя из рекомендаций, приведенных в методических указаниях, предложим три основных варианта совершенствования разработки и основных направлений научного исследования.

Первый вариант представляет собой использование проверенной технологии проведения научных исследований на основе ОСТ 26-1141-74.

Второй вариант использование проверенной технологии проведения научных исследований на основе ОСТ 26-1141-74 с применением дополнительного оборудования.

Третий вариант – это использования реальных объектов испытаний для проведения научных исследований, а не их макетов. Использование данного метода позволит получить более точные результаты исследования.

5.3. Планирование научно-исследовательских работ

5. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер совместно с лаборантом
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер
	10	Публикация полученных результатов	Инженер

В данном разделе был составлен перечень работ и их распределение между сотрудниками. Основными исполнителями выбраны инженер, научный руководитель. Также некоторую помощь будет оказывать лаборант.

6. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (3)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

7. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

Результат представлен в приложении 3.6.

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

Первого варианта- 54,5 календарных дней.

Второго варианта- 69,9 календарных дней.

Третьего варианта- 45,3 календарных дней.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в приложении 3.7.

В данном разделе были рассчитаны календарный план-график работ, трудоемкость, а также длительность работ. Наиболее быстрым методом оказался метод, который проводится в 3 случае, то есть работа на реальном объекте, так как данный метод основан уже на исследованиях и оборудовании реально работавших в прошлом, что позволило сэкономить ресурсы.

1.8. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Перчатки	Пара	3	2	1	15	15	15	36	36	18
Нож	Штука	2	2	-	30	30	-	72	72	-
Кусачки	Штука	1	1	-	200	200	-	240	240	-
Эмальпровод ПЭТД-180	Кг	1	1	1	400	400	400	480	480	480
Компаунд КП-50	Банка	1	1	1	800	800	800	960	960	960
Итого								1752	1752	1440

9. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 2.3.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблица 5.3.

Таблица 5.3 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Вентиль тор	Вентиль тор	-	1	1	-	4600	4600	-	4600	4600	-
2.	-	Датчик разности давления	-	-	1	-	-	5000	-	-	5000	-
3.	Преобразователь частоты	Преобразователь частоты	-	1	1	-	8600	8600	-	8600	8600	-
Итого:										13200	18200	-

9.1. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) инженера от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{он}} \cdot T_p, \quad (4.4.1.2)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$Z_{\text{он}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы представлен в приложении 8.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4. – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	48	48	48
- невыходы по болезни	14	14	140
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (11)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{tc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается из часового оклада и количества выделенных на работу со студентом часов:

$$Z_{осн} = Z_{час} \cdot T_{час} = 300 \cdot 24 = 7200$$

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 5.5.

Таблица 5.5. – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$, руб./мес.	k_p	Z_m , руб./мес.	$Z_{дн}$, руб./день	T_p , раб. дн.	$Z_{осн.}$, руб.
Исполнитель	9200	1,3	17940	831,47	347	288520
Руководитель						7200
Лаборант	9200	1,3	17940	831,47	347	288520
Итого:						584240

Тарифные ставки были приняты на основании данных газеты «За кадры» <http://za-kadry.tpu.ru/article/3393/7618.htm>

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

9.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 5.6.

9.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (13)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	7200	7200	7200	1274,51	1274,51	1274,51
Инженер	102019,5	171141,4	12789,53	12242,34	20536,97	1534,74
Лаборант	41264,34	62741,1	55075,75	4951,72	7528,93	6609,09
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	46713,18					
Исполнение 2	99860,98					
Исполнение 3	26204,86					

9.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (14)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7-Величины накладных расходов

	$Z_{\text{накл}}$, руб.
Исполнение 1	37446,18
Исполнение 2	77123,19
Исполнение 3	19894,69

9.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в

качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 5.8.

Таблица 5.8. – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	1752	1752	1440	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	13200	18200	-	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	153904,9	322726	86336,58	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18468,57	39481,2	10360,38	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	46713,18	99861	26204,86	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	37446,184	77123,2	19894,6912	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	234038,65	482020	124341,82	Сумма ст. 1- 6

В данном разделе были рассчитаны основные расходы при проведении исследований, наиболее простым и дешевым методом оказался метод 3.

5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 5.9. – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	Φ_{max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$, о.е.
1	482020	234038	0,486
2		482020	1
3		124341	0,258

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (исп. 3) отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 5.10. – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Жилые квартиры	Офисные помещения	Цеха
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта

Так как ресурсоэффективность в настоящем является одной из основных целей многих предприятий. Также экономией энергии не пренебрегают и частные лица, внедряющий данные рекуперативные установки в свои жилые помещения.

Среди достоинств, основываясь на проведенных выше анализах, стоит отметить простоту в управлении, так как используется хорошо распространенная система электропривода «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

Помимо достоинств, у системы есть и недостатки. На основании анализа, следует сделать вывод о том, что проекту необходимо развиваться в области замены более дорогих материалов, альтернативными более дешевыми, а также стоит поработать над качеством шумоизоляции.

Во всех трех случаях, наиболее лучшими показателями обладает третий способ ведения исследований, который основан на том, что проект будет разработан с участием реальных объектов, на предприятии.

Наиболее затратным оказалось второе исполнение, а наименее затратным третий. Помимо показателя наименьших затрат, третий способ займет наименьшее количество времени.

Введение данной разработки позволит повысить эффективность вентиляционных систем, а также улучшить показатели экономических составляющих. Данная система будет востребована, так как вентиляционные системы удовлетворяют в полной мере, одну из основных физиологических потребностей человека, а именно потребность в свежем и чистом воздухе, соответствующей температуры.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе, на основании знаний, полученных за период обучения по специальности, была спроектирована рекуперативная установка на базе системы, которая включает в себя асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и преобразователь частоты.

На основании данных о рекуперативной установке, предоставленных специалистами из ООО «НПО ВЭСТ», предложено техническое решение по модернизации. Основанием для модернизации служила необходимость улучшения технических показателей в холодный период времени и показателей срока службы данной системы.

Поиск решения проблемы производился в российских и международных патентных базах (<http://www1.fips.ru>, <http://ru.espacenet.com/>), крупнейшей в мире базе рефератов и цитирования – Scopus, политематической реферативно-библиографической и наукометрической базе данных – Web of Science. Направление развития данного проекта было выбрано на основании проанализированных литературных источников.

Реализация проекта производилась при помощи современных математических (SciLab) и научных средств, была использована специализированная литература и учебный материал по исследованию устойчивости (критерий Найквиста), а также выбору и настройке регулятора, в данном случае был выбран ПИ-регулятор настроенный на симметричный оптимум.

Были определены технические характеристики, на основании которых произведен выбор оборудования. Выбор производился с помощью различных справочных документов и руководств, представленных производителями оборудования.

С целью более широкого распространения, обеспечения доступности данного решения для других специалистов и возможности его использования на других устройствах, программирование произведено в программной среде CoDeSys, так как множество (более 500 типов) программируемых логических контроллеров поддерживают программирование в предоставленной среде. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что работа данных средств возможна и на других устройствах. На примере ОВЕН ПЛК 150, проиллюстрирована реализация данного решения.

Также была решена проблема измерения величины перепада давления в условиях помех, при которых происходило непреднамеренное срабатывание системы. Для этого в системе будет измеряться не сама величина перепада

давления, а тенденция ее изменения. Результаты моделирования свидетельствуют об адекватности выбора данного метода.

На основании выбранных элементов и способа функционирования системы, сформирована принципиальная электрическая схема.

Проработан раздел безопасности жизнедеятельности и социальной ответственности. В частности, рассмотрены различные вредные факторы, такие как: шум, электромагнитное излучение, недостаточное освещение. Представлены способы минимизации влияния данных факторов. Рассмотрена наиболее типичная опасная ситуация на объекте – поражение электрическим током и методы защиты от нее. Для улучшения экологического состояния окружающей среды, определены основные точки сбора вредных веществ и материалов в городе Томск. Предоставлен план эвакуации при чрезвычайных ситуациях. Освещены правовые аспекты работы.

Рассмотрены экономические аспекты проектирования электропривода: произведена оценка потенциала и перспективности. Выполнен SWOT-анализ и определена ресурсоэффективность проекта.

Выполненная квалификационная работа является готовым техническим решением для реального рабочего проекта. Произведены основные расчеты и сформирована схема для монтажа. Собранный система готова к запуску на объекте, но в процессе запуска возможны незначительные изменения в структуре программного обеспечения для ПЛК, в связи с тем, что могут быть найдены различные неточности и неучтенные моменты, которые будут исправляться непосредственно при настройке на объекте.

Список источников

1. ГОСТ Р 50369-92. Электроприводы. Термины и определения. – Введен впервые. Введ. 21.10.1992. – М.: Госстандарт России. 1992. – 13 с.
2. Мастерклимата. Рекуператоры [[Электронный ресурс] / Бытовые и промышленные климатические системы. «Мастерклимата». – Режим доступа: http://www.sistemair.ru/catalog/systemair_537-563-3-4.htm, свободный.
3. Пат. 2655907 Российская Федерация, МПК. F24F 12/00 (2006.01) Устройство для утилизации тепла вытяжного воздуха [Текст] / Шилин А.А.; Прохоров С.В, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" (RU). - № 2017108375; заявл. 13.03.2017; опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16. – 3 с.
4. Boualem Ouazia. Performance Testing of a Residential Motorless Air Exchanger System [Текст]/ B. Ouazia, R. Glazer, F. Szadkowski, C. Hoyme//– International Journal of Ventilation ISSN 1473-3315. – 2015. – Volume 14. – С 219 – 230.
5. Пат. 2176365 Российская Федерация, МПК. F24F 3/147 (2000.01) Способ работы теплообменника-утилизатора [Текст] / Бурцев С.И.; заявитель и патентообладатель ЗАО"Бюро техники кондиционирования и охлаждения". - № 2001105108/06; заявл. 20.02.2001; опубл. 27.11.2001, Бюл. № 33. – 3 с.
6. Пат. 2281437 Российская Федерация, МПК. F24F 3/147 (2006.01) Установка утилизации тепла вытяжного воздуха [Текст] / Кокорин О.Я., Балмазов М.В.; заявитель и патентообладатель: Балмазов Михаил Валентинович (RU)- № 2004114809/06; заявл. 17.05.2004; опубл. 10.08.2006, Бюл. № 32. – 4 с.
7. Kevin Michael Smith. Development of a plastic rotary heat exchanger for room-based ventilation in existing apartments [Текст]/ К.М. Smith, S. Svendsen //– Energy and Buildings. – 2015. – Volume 107. – С. 1 – 10.
8. GRUNDFOS CM1-10 A-R-G-V-AQQV [[Электронный ресурс] / ЭкоМакс. Инженерные системы. – Режим доступа: http://www.ecomaks.ru/catalog/grundfos_cm/5243-cm1-10_a-r-g-v-aqqv, своб.
9. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
10. О. П. Мальцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин. Системы управления электроприводов: учебное пособие / Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 152 с.

11. Частотный преобразователь Danfoss VLT Micro Drive FC-51 [Электронный ресурс] / Частотники.рф. – Режим доступа: http://xn--частотники.рф/vlt_fc51.html, свободный.
12. ОВЕН. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК150 [Электронный ресурс] / ОВЕН. Оборуд. для автоматизации. – Режим доступа: http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk_150/opisanie, свободный.
13. CODESYS [Электронный ресурс] / Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys>, свободный.
14. МОХА NPort 5150 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.moxa.ru/shop/com_v_ethernet/standart/5000/5100/nport_5150/ – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 09.03.2017)
15. Интернет-коммуникатор ВЭСТ-ИС [Электронный ресурс] / НПО ВЭСТ – Режим доступа: <https://nprowest.ru/продукция/устройства-связи/23-интернет-коммуникатор>, свободный
16. Диспетчерская НПО ВЭСТ [Электронный ресурс] / НПО ВЭСТ – Режим доступа: <https://nprowest.ru/продукция/диспетчерская>, свободный
17. Арктика. Дифф. преобразователь давления DPM-2500D [Электронный ресурс] / Арктика. Системы вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха. – Режим доступа: <http://www.arktika.ru/html/dpm2500d.htm>, свободный.
18. Зайцев А.П. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 152 с.
19. Scilab [Электронный ресурс] / Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Scilab>, свободный.
20. СанПиН 2.2.2 2.4.1340. Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы. – 03. – М., 2003
21. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР, 6-е издание – Энергоатомиздат, 1996. – 640с.
22. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*».
23. ГОСТ 6825-91. Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения.
24. С.В. Белов. Охрана окр. среды. – М.: Высшая школа, 1991. –319 с.
25. Как утилизировать бытовую технику и электронику [Электронный ресурс] / Экопортал Респ. Башкортостан. – Режим доступа: <http://www.ecorb.ru/70>, свободный.

26. ГОСТ Р 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введен взамен ГОСТ 12.1.004-85. Введен 01.07.1992. – М.: Госстандарт России. 1992. – 126 с.

27. МЭИ. Эргономика рабочего места пользователя ПЭВМ/[Электронный ресурс] / МЭИ. БЖД – Режим доступа: http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/_private/ERGONOM/glava4/V_4_C_treb_RM.htm, свободный

28. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)

29. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (Дата введения 2003.08.01)

Публикации

1. Пат. 2655907 Российская Федерация, МПК. F24F 12/00 (2006.01) Устройство для утилизации тепла вытяжного воздуха [Текст] / Шилин А.А.; Прохоров С.В, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" (RU). - № 2017108375; заявл. 13.03.2017; опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16. – 3 с.
2. Savrasov F. V. , Prokhorov S. - , Shilin A. A. The computer simulation of hoarfrost's clearing process in the air recuperation system // Journal of Physics: Conference Series. - 2017 - Vol. 803 - №. 1, Article number 012134. - p. 1-5
3. Shilin A. A. , Prokhorov S. - , Shabo A. K. , Bukreev V. G. A method for measuring the amount of hoar frost formation in the recuperation channels of ventilation systems using the adjustable mathematical model of this process // MATEC Web of Conferences . - 2017 - Vol. 141, Article Number 01032. - p. 1-5
4. Shilin A. A. , Bukreev V. G. , Prokhorov S. - . Pressure Pump Power Control in the Primary Circuit of the Heat Exchange System // MATEC Web of Conferences. - 2017 - Vol. 91, Article number 01043. - p. 1-5
5. Прохоров С. В. Рекуперативные установки в системах воздухообмена промышленных предприятий // Интеллектуальные энергосистемы: материалы III Международного молодежного форума. В 3 т., Томск, 28 Сентября-2 Октября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 1 - С. 132-136
6. Прохоров С. -. Защита от инея в системах рекуперации на основе поддержания температуры точки росы [Электронный ресурс] // Энергостарт: сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической школы, Кемерово, 11-25 Июля 2016. - Кемерово: КузГТУ, 2016 - С. 1-4. - Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/es/energstart/pages/Articles/3/Prohorov.pdf>
7. Шилин А. А., Прохоров С. В. Частотное управление рекуператором в системе вентиляции [Электронный ресурс] // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сборник материалов II Всероссийской научно - практической конференции, Кемерово, 2-4 Декабря 2015. - Кемерово: КузГТУ , 2015 - С. 1-3. - Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energ/2015/energ/pages/Articles/3/Shilin_Prohorov.pdf

Приложения

Приложение А

A METHOD FOR MEASURING THE AMOUNT OF HOAR FROST FORMATION IN THE RECUPERATOR OF VENTILATION SYSTEMS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Прохоров Сергей		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

Introduction

The final work presents a method for measuring the amount of hoar frost formation in the recuperator of ventilation systems. Systems work based on the fact that the control loop of the hoar frost model is included in the measurement in accordance with the measured pressure drop, which is proportional to the amount of hoar frost. Unlike the known measurement methods, it is proposed to use the state variables of the mathematical model as a controlling value. These state variables are not subject to non-deterministic interferences and random influences. The paper presents simulation results confirming the adequacy of the designed dynamic model. In conclusion, an example of the recuperator use in the defrost control system is given

Recuperators are often used in ventilation systems, when ambient temperatures and inside temperature are very different. The efficient use of recuperators allows for the heat exchange between these air masses. Such technologies can save energy and return the heat from prepared air back into the ventilation system.

There are several types of air recuperation systems. Systems with a rotating heat exchanger are the most popular [1], for which both actuated equipment and software are designed. However, there is a significant disadvantage associated with partial mixing of the initial and prepared stream in this systems. Such confusion is unacceptable for many objects of different types of buildings. It is possible to separate initial and prepared streams while maintaining effective heat exchange by using separate heat exchangers for each flow, ensuring circulation of the heat-transfer fluid between them. Similar solutions can be found in the works [2,3]

While operating recuperation systems with separated heat exchangers under the conditions of very low ambient temperatures, the problem of the hoar frost of the outgoing airstream arises. The problem of hoar frost formation, experimental data, dynamic processes and many other features of such systems are described in detail in [4]. The cause of frost formation in the channel is the moist and warm air coming from the room. In severe cold, when the air contacts the metal walls of the recuperator, it forms drains. If the temperature of the external environment is very low (for example, less than -30 C), the dew freezes and forms hoar frost, which accumulates in the channel of heat exchanger.

Hoar frosts can greatly complicate the process of air exchange, up to a complete blockage of the channels, which leads to a system shutdown. This problem is known in many countries such as Russia, Canada, Sweden and other northern countries, where the temperature of the environment can be below -25 C. There are several methods for solving this problem. Thus, in work [3], to solve a similar

problem, it is proposed to add a heating element to the system, which defrosts the recovery channel. This method is quite reliable, but it requires spending additional energy, which is undesirable in resource-efficient installations designed to save energy.

In this paper, we propose a more economical solution to the problem of removing the hoar frost layer without including any additional devices. Removing this hoar frost can occur at the dew point temperature, which can be provided with an automatic temperature control system. This system works in two modes. Normal mode, in which the system operates at maximum efficiency of heat exchange. Exactly in this mode a layer of hoar frost accumulates. The mode of thawing at the dew point, when the temperature of the emerging air system is maintained in the region of 0 C. In this mode, the hoar frost layer melts and is blown out.

The main problem and drawback of the method [3] is providing the well-timed switching of modes. If the airstream is completely blocked with hoar frost, there may be a breakdown of the system and we need a help of operating personnel. Switching time depends on the level of hoar frost of the channel and can be calculated from it. Works [5–7] are devoted estimations of the level of hoar frost formation of the channel. The implementation of these works requires considerable expenditures for additional equipment. For example, such as, visual, thermal, working on the difference of output and input parameters, etc. [7]. In addition, the process of hoar frost formation is significantly inertial so it is important to monitor its dynamics. It is usually required to observe the derivative of the measured value of the level of hoar frost. The level of hoar frost formation is proportional to the pressure drop at the beginning and end of the heat exchanger channel, so it can be measured with a differential pressure sensor [4]. Such a sensor will allow the control system to be implemented with thawing. However, the process of measuring the pressure drop is significantly susceptible to mechanical noise caused by the operation of the fans. Therefore, a direct estimation of the derivative of the process of hoar frost formation is practically not realizable.

In this final work we will design a method for measuring the degree of hoar frost formation and its derivative using a tunable mathematical model, where the variable states qualitatively reflect the process of frosting in dynamics. Such a sensor will make it possible to effectively implement a control system with thawing. Despite the fact that in the course of measurements the device can be influenced by many different external factors, the values of the state variables reflect the process itself.

Measured process variables

Pressure drop, ΔP and output temperature T_{out} are the parameters that are necessary to measure

$U_{control}$ is predetermine a value of control signal to frequency controller. It does not require high speed response, because the process of hoar frost growth is quite long. The range and accuracy of regulation are also low. In this connection, a decision is made to use scalar control. Therefore, it is solved to use scalar control. The perturbation influence in this case is the moment of inertia of the motor(J). The impeller is fixed to the shaft, its moment of inertia is small, so we neglect value of its own inertia.

The main quality criteria and objectives of process control, shown in the drive structure:

- scalar control;
- diagnostics of the electric motor and frequency converter;
- data exchange with the dispatch center;
- requirements of safety standards;
- standards for resistance to various impacts.

Design of the automated control systems of an object

System can be divided into three levels (Fig. 1)

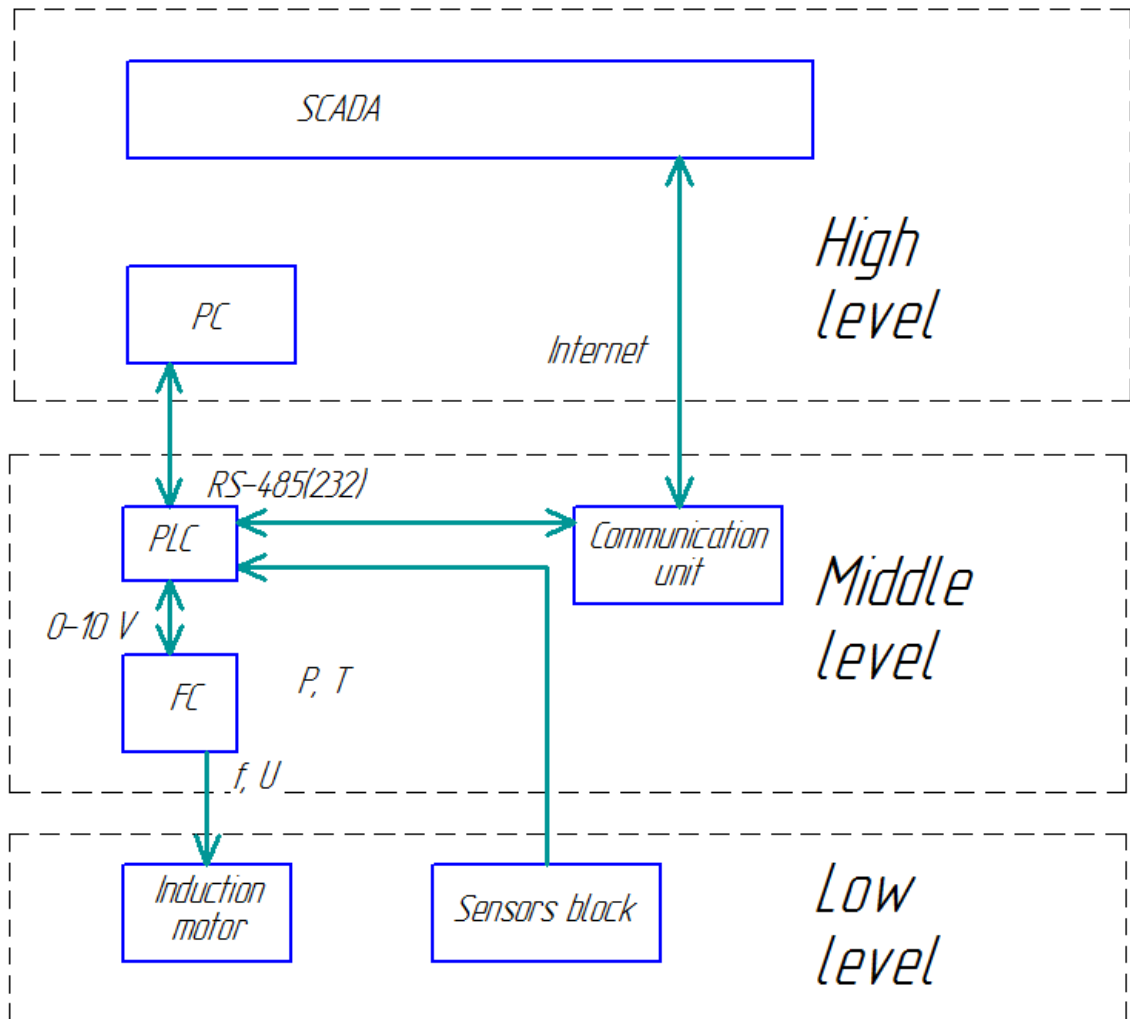


Figure 1 – Hierarchy of APCS

Hierarchy of APCS has three levels:

Low level – level of sensors and motors

Middle level – level of logic controllers and communication units

High level – operator's personal computer or Supervisory Control and Data Acquisition system (SCADA)

Communication between hardware units is as follows:

- The analog signal from the sensor is fed to ADC of the controller, which appears to be processed. The system uses scalar control. Motor speed will be determined by the frequency converter setting the voltage and frequency.
- The controller will communicate with a high level by RS-485 (232) interface if built on ModBus RTU protocol. The system has an internet controller

which makes a connection with SCADA for remote operation. There are basic requirements to recuperation system.

The dynamic properties of frosting process

A qualitative mathematical model of the process is required for creating state variables. To synthesize the model, we used the results of mathematical modeling of the recuperation system and the results of experimental studies from [8].

The mathematical model is created in the Xcos environment of the mathematical package SciLab on the functional blocks and is presented in Fig. 2

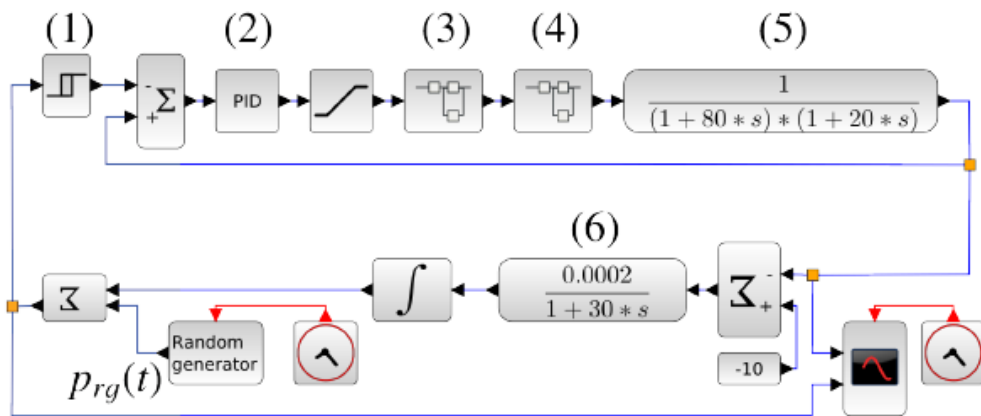


Figure 2. Mathematical model of defrosting control in a recuperation system

The model has the following blocks:

Block 1: Hysteresis element, designed to define the boundaries corresponding to the values of the layers at which the system will enter defrost and frost operation mode, to provide the maximum efficiency mode.

Block 2: proportional, integral and derivative (PID)-regulator, to maintain the modes.

Block 3: Block of actuators "Frequency converter – Induction motor". It is represented by a simplified differential equation in the form of a transfer function:

$$W_{am}(s) = \frac{1}{(1+sT_{ft})(1+sT_{am1}+s^2T_{am2}^2)} \quad (1)$$

Where - $T_{ft} = 0,2$ s – time of the frequency converter, $T_{am1} = 0,15$ s and $T_{am2} = 0:03$ s times of Induction motor. The executive element of the system is a pump that ensures the circulation of the heat transfer medium between heat exchangers. This pump is made on the basis of an Induction motor. Since the transition process of hoar frost formation and defrosting is much slower than the processes in the induction motor. It is perfectly permissible to use aperiodic units of the first order as a mathematical dynamic model of the induction motor.

Block 4: Block of temperature function. In the unit static connection from the control signal from the PID controller output in the "Frequency converter - Induction motor", to the temperature at the output of the heat exchanger. In the block, the function proposed in [9] is implemented by expression:

$$T_{exch} = T_{room} + (T_{out} - T_{room})K_{ef}0.1U_{pid} \quad (2)$$

where $T_{room} = 20^\circ \text{C}$ is room temperature, $T_{out} = 30^\circ \text{C}$ - Ambient temperature, K_{ef} - Efficiency coefficient of recuperator, $U_{pid} [0; 10,0]$ – output value of PID-regulator.

Block 5: Unit characterizing the process of increasing hoar frost is represented by two successively connected inertial unit of the first order, realizing the transfer function:

$$W_{exch}(s) = \frac{1}{(1+sT_{o1})(1+sT_{o2})} \quad (3)$$

with time constants ($T_{o1} = 80 \text{ s}$) and ($T_{o2} = 20 \text{ s}$).

Block 6: Defrost process describes an aperiodic unit of the first order with a time constant ($T_o = 30 \text{ s}$) and a coefficient ($K_p = 0:0002$) proportional to the rate of increase in frost.

The results of the simulation are presented in the form of transition process in Fig. 3 ($p_{rg}(t) = 0$).

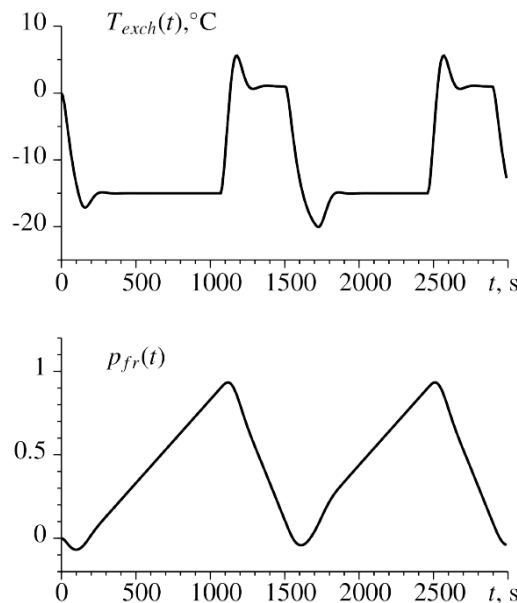


Figure 3. Results of simulation of a deterministic system ($p_{rg}(t) = 0$)

From the processes it is clear that the model reflects the processes of growth and thawing of frost. The operation of the PID controller ensures that the temperature at the heat exchanger outlet is maintained in both modes. The form of the obtained

transient processes was also confirmed by specialists servicing the system under investigation in Yakutia (Russia).

However, in real conditions, due to the influence of many external factors, it is impossible to evaluate qualitatively the value of hoar frost formation directly on the basis of a pressure differential sensor. The measured value of the differential pressure in the actual system includes significant strays from the mechanical part of the recuperation system. This problem caused random switching between modes.

The transition process obtained from the simulation of a system with strays is shown in Fig. 4 ($p_{rg(t)} = 10\%$). To solve this problem, the sensor can be represented in the form of differential equations or a dynamic model. Such a method of evaluation makes it possible to observe the tendency of the hoar frost formation process, due to the use of state variables. This solution will be efficient for the control systems with defrosting, since the mathematical model of the process is not subject to strays from the mechanical part of the system.

Observer of state variables of the hoar frost process

The main factor affecting the process of hoar frost formation is the ambient temperature. Thus, the process of frost formation begins at certain parameters. Besides the ambient temperature, the humidity of the air in the installation has a direct influence on the process of frost formation. The temperature of the frost can drop to -30 C in very dry air. The temperature of the frosting hardly drops below the dew point temperature. This relationship between temperature and humidity was noticed during the operation of the automatic recuperation system in Yakutia (Russia). The main task of the presented model is to find the moment of switching from one mode to another, based on the value of the formed frost. In general, other values (humidity, pressure, e.t.c.) that affect the model have not been investigated, since they do not have a significant effect on switching moment calculation.

The main indicator influencing the hoar frost formation process is the ambient temperature (T_{fr}) at which this process actually begins. For different objects this temperature can vary considerably. During the operation of the automatic recuperation system in Yakutia (Russia), a link was observed between the temperature (T_{out}) and the humidity of the exhaust air. In particular, for dry outgoing air, the temperature (T_{fr}) can drop to -30 C , and also the rate of increase of hoar frost formation (P_{fr}) falls down sensitively. And with moist air, the rate of frost rises with the temperature (T_{out}). Fig. 4 presents structural diagram of the system with an observer of the state variables of the process of hoar frost.

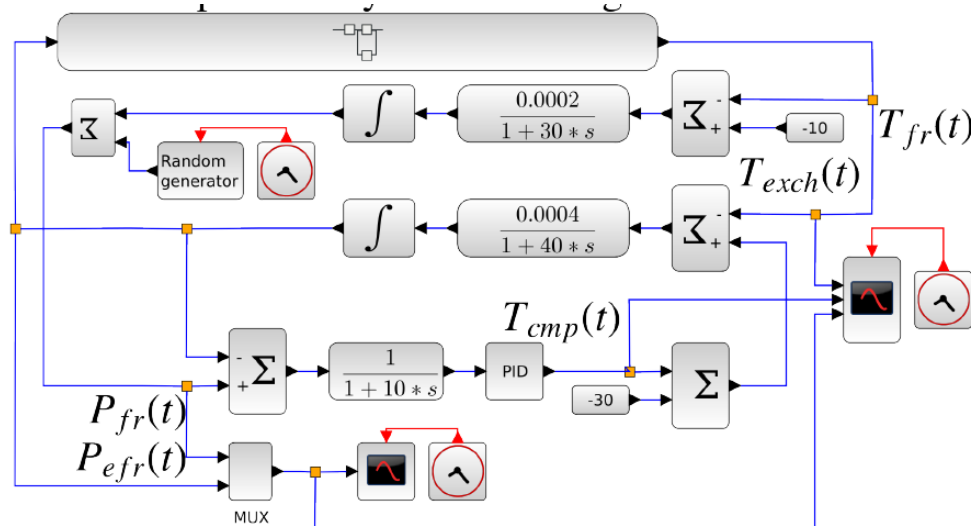


Figure 4. Structural diagram with the observer of state variables

The upper part of the structural diagram is taken from Fig. 1. A reference model, is presented where the dynamic characteristics of the reference model differ from those adopted in the system. In particular, the rate of hoar frost formation is overestimated by a factor of two, and the time of inertia is increased by one third. In

the system, the frost-formation temperature adjustment circuit (p_{efr}) is added, which includes a damping unit and a PID controller. The goal of a closed loop is to adjust a (T_{cmp} – the compensating value) at which the damped mismatch tends to zero.

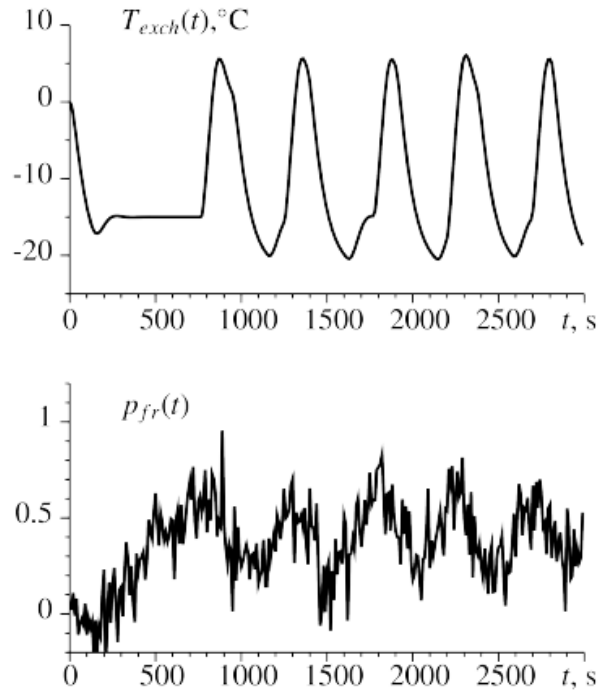


Figure 5. Results of simulation under interference conditions ($p_{\text{rg}}(t) = 10\%$)

Stability and speed of response of the tuning loop can provide the optimal parameters of the PID-controller. It is possible by any available method adopted in the theory of automatic control. The transfer function of the open system was assumed in the following form:

$$W_{cl}(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} + \frac{T_d s}{1 + 0.1 T_d s} \right) \cdot \frac{0.0004}{s(1 + s10)(1 + s40)}, \quad (4)$$

where $k_p = 50$, $k_i = 0:1s^{-1}$, $T_d = 10$ s.

Fig. 6 presents the simulation results.

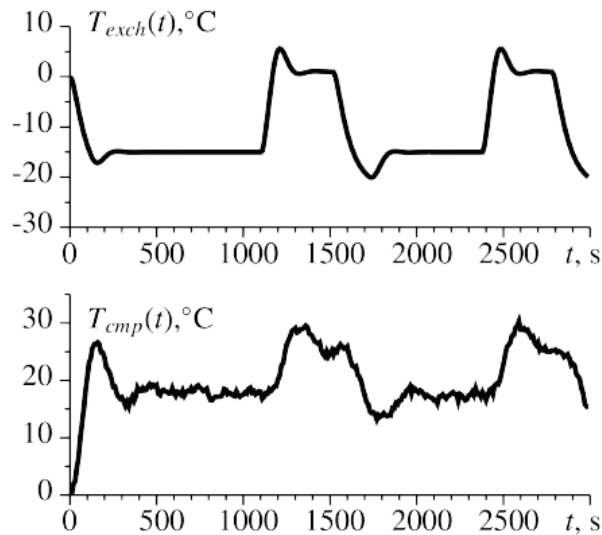


Figure 6. The results of modeling using the state variable as the degree of hoar frost formation

As can be seen from the figure, the compensating value (T_{cmp}) at the output of the PID controller should be $T_{cmp} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$: But due to the fact that the parameters of the model are significantly different from the parameters of the object describing the process of a clogging an absolute coincidence is not observed. Nevertheless, the main purpose of solving the problems of false triggering of the hysteresis element is solved and it is possible to observe the restoration of the operation of the thawing circuit. Indeed, the processes of transition from mode to mode practically correspond to Fig. 3. and there are no false positives in them, which are observed in Fig. 4.

As a result, the structural diagram of the system with the observer of state variables of the degree of hoar frost formation provides a qualitative estimate of the actual degree of contamination over a sufficiently noisy value of the pressure drop across the heat exchanger Fig. 6 shows the correspondence of the pressure drop ($p_{fr}(t)$ – dotted line) and the evaluation of the degree of hoar frost formation ($p_{efr}(t)$ – solid line), which has a smooth character of change.

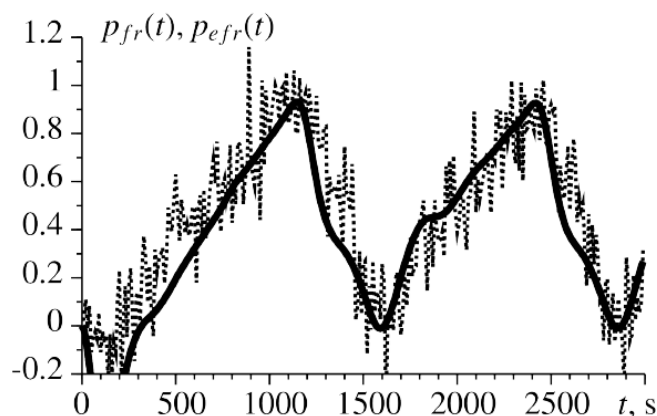


Figure 6. Differential pressure and evaluation of the degree of hoar frost formation

Conclusion

This result is achieved by observing the trend of the incoming signal through the introduction of a damper. During operation the control system has been able to cope with the tasks accurately. Problems may occur when the measurement of non-trivial physical quantities is required to organize a process or an automatic system. These physical quantities can have quite understandable relationships with quantities that can be measured by standard sensors under external conditions and described in the form of differential equations.

In such cases, a complex technique is required to estimate the value of a nontrivial physical quantity, taking into account both static and dynamic relationships. It is quite difficult to find a suitable prototype for solving frosting since there is little information on this topic in the scientific and technical references. The methodology for performing similar tasks is presented, which can be applied in different technological objects, where the measurement of non-trivial physical quantities is required. Moreover, the results of this research can be useful for specialists in the field of synthesis of automatic recuperation systems.

References

1. K. Smith, S. Svendsen. *Energy and Buildings* 107, 1 (2015)
2. A. Zandeckis, K. Klavina, M. Dzikevics, V. Kirsanovs, G. Zogla, *Journal of Engineering Science and Technology Review* 8, 98 (2015)
3. B. Ouazia, R. Glazer, F. Szadkowski. C. Hoyme, *International Journal of Ventilation* 14, 219 (2015)
4. M. Rafati Nasr, F. Fathieh, D. Kadylak, R. Huizing, R. Besant, C. Simonson, *Experimental Thermal and Fluid Science* 77, 100 (2016)
5. S. Koziol, S. Zacharski, *Solid State Phenomena* 237, 148 (2015)
6. K. Allaerts, J. Al Koussa, J. Desmedt, R. Salenbien, *Energy and Buildings* 138, 559 (2017)
7. A. Krofova, P. Kic, Heat recuperation in ventilation system of basement laboratory (2016), Vol. 2016-January, pp. 56–61
8. F. Savrasov, S. Prokhorov, A. Shilin, *Journal of Physics: Conference Series* 803 (2017)
9. A. Shilin, V. Bukreev, *Communications in Computer and Information Science* 487, 387 (2014)

Приложение Б.1

Описание работы системы основанной на работе теплообменника-утилизатора

Способ основан на работе теплообменника-утилизатора с перекрестно-точными каналами [5], включающий корпус 1 с входным 2 и выходным 3 и входным 4 и выходным 5 патрубками соответственно приточного и вытяжного воздуха, в котором установлен теплообменный блок 6 с перекрестно-точными каналами, который выполнен, например, в виде пакета уложенных друг на друга алюминиевых пластин с образованием чередующихся между собой перекрестно-точных каналов для прохода приточного и вытяжного воздуха. Теплообменный блок 6 снабжен центральной осью (не показано), перпендикулярной стенкам, разделяющим каналы приточного и вытяжного воздуха. Упомянутая ось связана посредством муфты с валом электродвигателя 7, который закреплен на наружной поверхности корпуса 1 теплообменника. Электродвигатель 7 с одной стороны связан с концевым выключателем 8, а с другой - магнитным пускателем 9, который, в свою очередь, связан с вторичным прибором 10. Последний в одном из вариантов устройства (Рисунок 1.2.2а) соединен с закрепленным на внутренней поверхности корпуса 1 теплообменника в зоне холодного угла теплообменного блока 6 датчиком 11 температуры, в состав которого входит бесконтактный инфракрасный термометр. В другом варианте (Рисунок 1.2.2б) вторичный прибор 10 соединен с датчиками 12,13 давления, первый из которых установлен перед теплообменным блоком 6 во входном 4, а второй после упомянутого блока в выходном 5 патрубках вытяжного воздуха. В качестве вторичного прибора 10 в первом варианте используется преобразователь температуры, а во втором - дифференциальный манометр. [5]

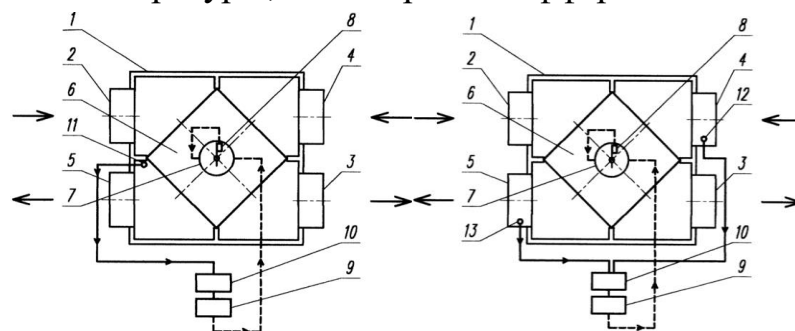


Рисунок Б.1– Схема работы теплообменника а) с датчиком температуры в крайнем углу и б) с датчиком перепада давления

Предотвращение образования инея или его удаление посредством нагрева поверхности холодной зоны теплообменника подводимым к нему

потоком вытяжного воздуха, который подают в каналы вытяжного воздуха с их выходной стороны при достижении измеряемым параметром предельного значения посредством поворота теплообменника вокруг центральной оси на угол 180° , обеспечивает постоянное аэродинамическое сопротивление потоку приточного воздуха, а также использование для теплообмена всей поверхности теплообменника в течение всего времени его работы. Это объясняется тем, что в заявляемом способе нет необходимости перекрывать каналы для прохода приточного воздуха в процессе предотвращения образования инея или его удаления с поверхности теплообменника в его холодной зоне. Кроме того, благодаря тому, что при повороте теплообменника вокруг центральной оси на угол 180° происходит совмещение выходной стороны каналов вытяжного воздуха с патрубком (воздуховодом) его подачи в теплообменник, где температура вытяжного воздуха наиболее высока, нагрев этим потоком воздуха поверхности теплообменника в его холодной зоне обеспечивает сокращение времени, требуемого для предотвращения образования инея или его удаления. [5]

Температура в холодном углу теплообменника является одним из возможных параметров, измерение которого в процессе работы теплообменника позволяет в случае достижения им предельного, заранее заданного, значения предусмотреть возможность образования в ближайшее время инея или установить факт его наличия на поверхности холодной зоны теплообменника и оперативно принять меры к устранению этих явлений. [5]

Разность давлений в канале вытяжного воздуха до и после теплообменного блока служит другим из возможных параметров, предельное значение которого также позволяет предусмотреть возможность образования в ближайшее время инея или установить факт его наличия на поверхности теплообменника и своевременно принять меры к его удалению. [5]

На рисунке А.1.а - вариант устройства, реализующего один из частных случаев осуществления заявляемого способа, в соответствии с которым параметром, по которому судят о возможности образования или наличии инея на поверхности холодной зоны теплообменника, служит температура его поверхности в самом холодном углу; на рисунке А.1.б - вариант устройства, реализующего второй частный случай осуществления способа, в соответствии с которым параметром, по которому судят о возможности образования или наличии инея на поверхности холодной зоны теплообменника, служит разность давлений в канале вытяжного воздуха до и после теплообменного блока. [5]

Приложение Б.2

Описание работы системы основанной на работе теплообменника-утилизатора

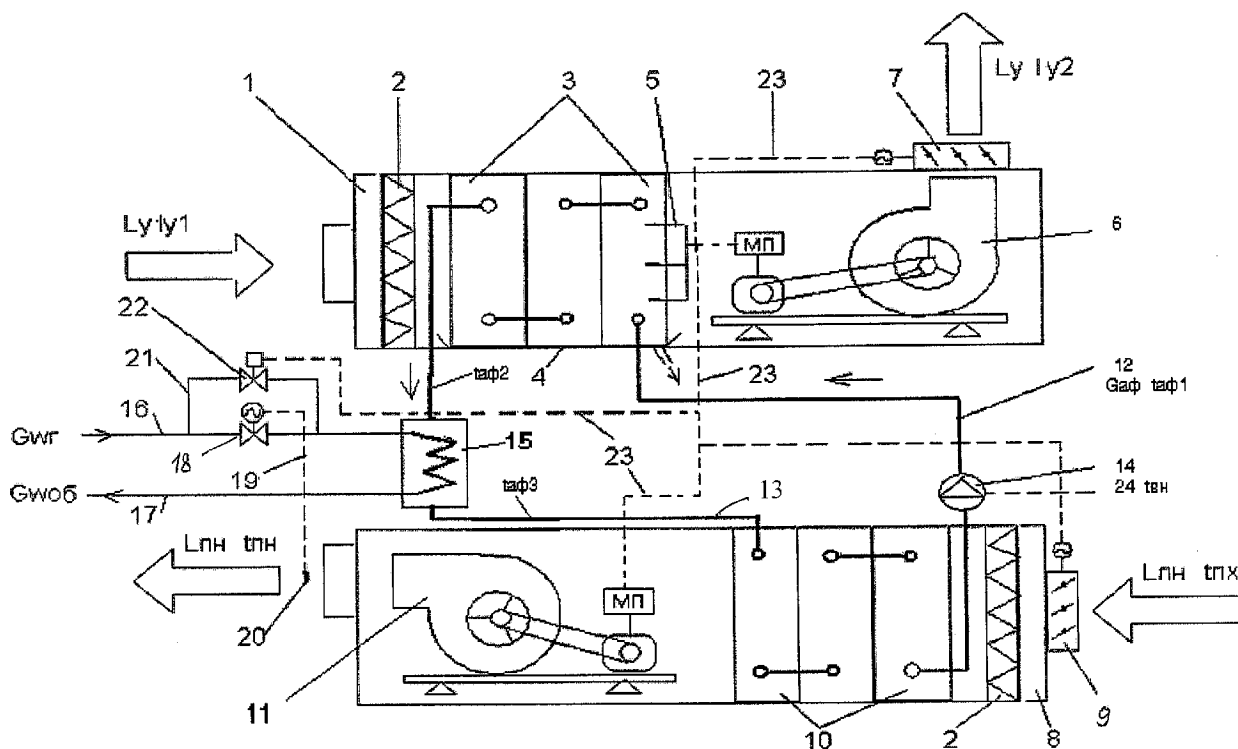


Рисунок Б.2. – Принципиальная схема работы установки по утилизации тепла вытяжного воздуха

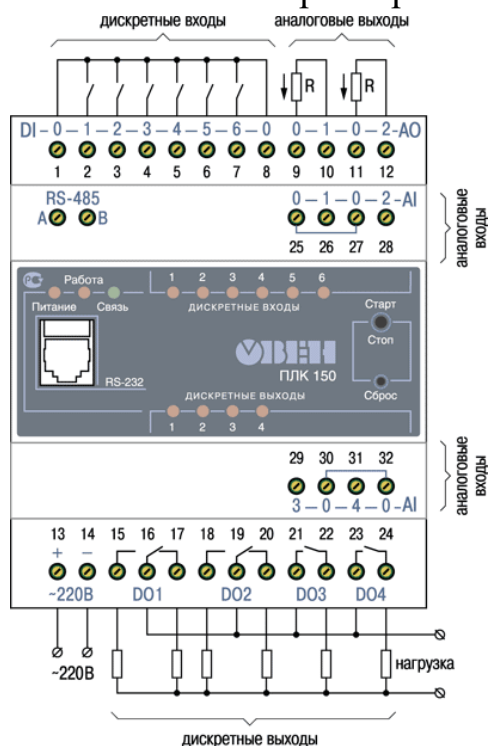
В предлагаемой установке утилизации теплоты вытяжного воздуха Ly в вытяжном агрегате 1, состоящем из фильтра 2, теплоизвлекающего теплообменника 3 с поддоном 4 и датчиком 5 контроля намерзания конденсата, вытяжного вентилятора 6 с приводом от электродвигателя с магнитным пускателем МП, воздушного клапана 7 с электрическим приводом и для подачи в обслуживаемое помещение наружного воздуха $L_{пн}$ приточного агрегата 8, состоящего из воздушного клапана 9 с электроприводом, воздушного фильтра 2, теплоотдающего теплообменника 10, приточного вентилятора 11 с приводом от электродвигателя с магнитным пускателем МП, а трубопроводами 12 и 13 соединены теплоизвлекающий 3 и теплоотдающий 10 теплообменники, с циркуляционным насосом 14, который управляется автоматическим устройством 24, контролирующим заданную температуру в обслуживаемом помещении, а на трубопроводе 13 установлен подогреватель антифриза, который может работать в режиме оттаивания, например, теплообменник 15 антифриз-горячая вода, соединенный подающим 16 и обратным 17 трубопроводами с источником снабжения горячей водой (не показан), а на подающем трубопроводе 16 смонтирован автоматический

клапан 18, имеющий импульсную связь 19 с датчиком 20 контроля температуры приточного наружного воздуха $t_{пн}$, и у клапана 18 смонтирован обводной трубопровод 21 с соленоидным клапаном 22, имеющим импульсную связь 23 с датчиками контроля 5 образования замерзшего конденсата на поверхности пластин теплообменника 3, а импульсная связь 23 одновременно присоединена к магнитным пускателям МП электродвигателей вытяжного 6 и приточного 11 вентиляторов и электрическими приводами воздушных клапанов 7 и 9. [6].

Так, при низких температурах, благодаря извлечению из вытяжного воздуха теплоты, определяемой перепадом энтальпий ($I_{y1}-I_{y2}$), при этом на пластинах теплообменника 3 происходит выпадение конденсата, который частично собирается в поддоне 4 и удаляется в канализацию, а частично замерзает при охлаждении и осушении вытяжного воздуха L_y , что контролируется датчиком 5, а превышение критического уровня замерзающего конденсата вызовет команду от датчиков 5 через импульсную связь 23 на остановку электродвигателей вытяжного 6 и приточного 11 вентиляторов, закрытие воздушных клапанов 7 и 9, а также открытие соленоидного клапана 22 на обводном трубопроводе 21 у подающего трубопровода 16 поступления горячей воды в теплообменник 15, что обеспечит повышение температуры антифриза до t_{af3} и нагретый антифриз от работы насоса 14 по трубопроводу 12 поступит в трубки теплообменника 3, что обусловит быстрое оттаивание замерзшего конденсата, который в жидком состоянии собирается в поддоне 4 и удаляется в канализацию, а устранение замерзшего конденсата на поверхности пластин теплообменника 3 воспринимается датчиками 5, которые по импульсной связи 23 передают команду на пуск электродвигателей вытяжного 7 и приточного 11 вентиляторов, открытие воздушных клапанов 7 и 9, закрытие соленоидного вентиля 22 на обводном трубопроводе 21, а если утилизируемой в теплообменнике 3 теплоты вытяжного воздуха L_y недостаточно для нагрева приточного наружного воздуха $L_{пн}$ до требуемой температуры $t_{пн}$, то датчик 20 через импульсную связь 19 подает команду на открытие автоматического клапана плавной регулировки 18 на подающем трубопроводе 16, поступление горячей воды G_w в теплообменник 15 на догрев антифриза G_{af3} до требуемой температуры, а охлажденная вода G_w об. по обратному трубопроводу 17 поступает к центру нагрева воды (не показан), для предохранения теплообменников 3 и 10 от пыли служат фильтры 2. [6]

Приложение В

Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 150



Характеристики ОВЕН ПЛК 150

Конструктивное исполнение	Унифицированный корпус для крепления на DIN-рейку (ширина 35 мм), длина 105 мм (6U), шаг клемм 7,5 мм
Степень защиты корпуса	IP20
Напряжение питания:	90... 264 В переменного тока (номинальное напряжение 220 В) частотой 47... 63 Гц
Потребляемая мощность	6 Вт
Индикация передней панели	1 индикатор питания 6 индикаторов состояний дискретных входов 4 индикатора состояний выходов 1 индикатор наличия связи с CODESYS 1 индикатор работы программы пользователя
Центральный процессор	32-разрядный RISC-процессор 200 МГц на базе ядра ARM9
Объем оперативной памяти	8 МВ
Объем энергонезависимой памяти хранения ядра CODESYS, программ и архивов	4 МВ**
Размер Retain-памяти	4 кВ***
Время выполнения цикла ПЛК	Минимальное 250 мкс (нефиксированное), типовое от 1 мс

Приложение Г

Параметры MOXA NPort 5150

1-портовый асинхронный сервер RS-232/422/485 в Ethernet

- Количество портов 1
- Тип портов RS-232/422/485
- Передаваемые сигналы RS-232: Tx, Rx, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND
- RS-422: Tx+, Tx-, Rx+, Rx-, GND
- RS-485 (2-проводный): Data+, Data-, GND
- RS-485 (4-проводный): Tx +, Tx-, Rx +, Rx-, GND
- Управление направлением передачи данных по RS-485ADDC® (автоматическое)
- Резистор Pull High/Low для RS-485 1 кОм, 150 кОм

Приложение Д

Параметры дифференциального преобразователя давления Polar Bear DPM-2500D



Данный датчик выбран на основании открытого каталога продукции фирмы «Арктика». Polar Bear DPM-2500D имеет следующие параметры:

Параметры дифференциального преобразователя давления Polar Bear DPM-2500D

Диапазон давления Па	-100...100, 0...100, 0...250, 0...500, 0...1000, 0...1500, 0...2000, 0...2500
Напряжение питания В/Гц	24/50
Потребляемая мощность ВА	1
Выходной сигнал	0–10 В, 4–20 мА
Электрон. демпфирование с	0,8/4
Степень защиты	IP 54
Дисплей	LCD, 4 разряда
Габаритные размеры, ВхШхГ мм	72x90x36
Диаметр патрубков мм	5

Приложение Е.1

Моделирование в среде CODESYS

Так как система оказалась устойчивой, то ее можно использовать в реальных системах. Далее модель будет собрана в программной среде CODESYS с целью переноса разработки модели в реальный регулятор. Данная среда выбрана в связи с ее распространенностью среди инженеров.

CODESYS (акроним англ. Controller Development System) — инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации.

Основой комплекса CODESYS является среда разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК). Она распространяется бесплатно и может быть без ограничений установлена на нескольких рабочих местах.

В CODESYS для программирования доступны все пять определяемых стандартом IEC 61131-3 (МЭК 61131-3) языков:

- IL (Instruction List) — ассемблер-подобный язык;
- ST (Structured Text) — Pascal-подобный язык;
- LD (Ladder Diagram) — Язык релейных схем;
- FBD (Function Block Diagram) — Язык функциональных блоков;
- SFC (Sequential Function Chart) — Язык диаграмм состояний.

В дополнение к FBD поддержан язык программирования CFC (Continuous Function Chart) с произвольным размещением блоков и расстановкой порядка их выполнения (Рисунок Е.1). [15]

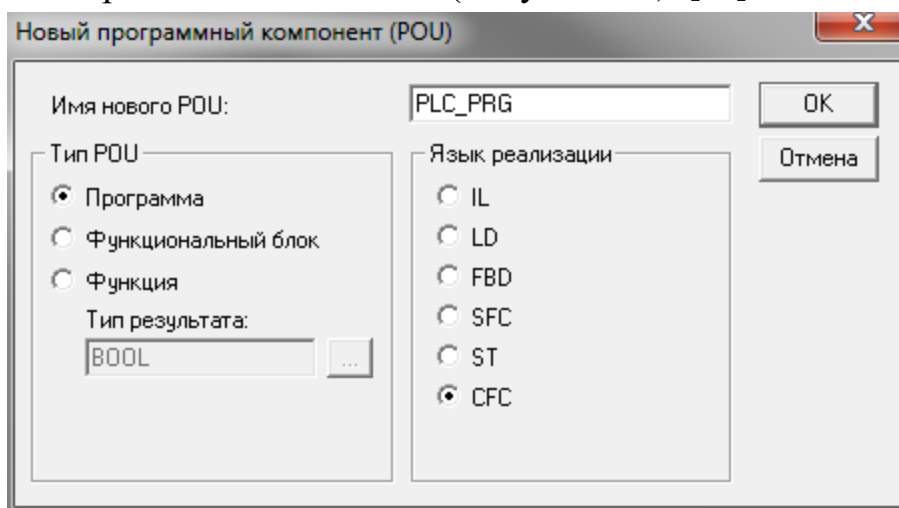


Рисунок Е.1 – Создание нового программного объекта в среде CODESYS

Реализация проекта, представленного в данной выпускной квалификационной работе в среде CODESYS, будет основана на языке

программирования CFC, так как он отличается простотой реализации и некоторой схожестью с программами, изученными ранее.

Главный экран, представленный на рисунке 1.7.2, представляет из себя несколько окон, в данном случае главным из них является окно программирования в CFC (1). Также присутствует окно ST (Structured Text) (2), окно показывающее структуру системы (3), окно просмотра сообщений, предупреждений и ошибок (4), а также стандартная для многих программ панель инструментов (5).

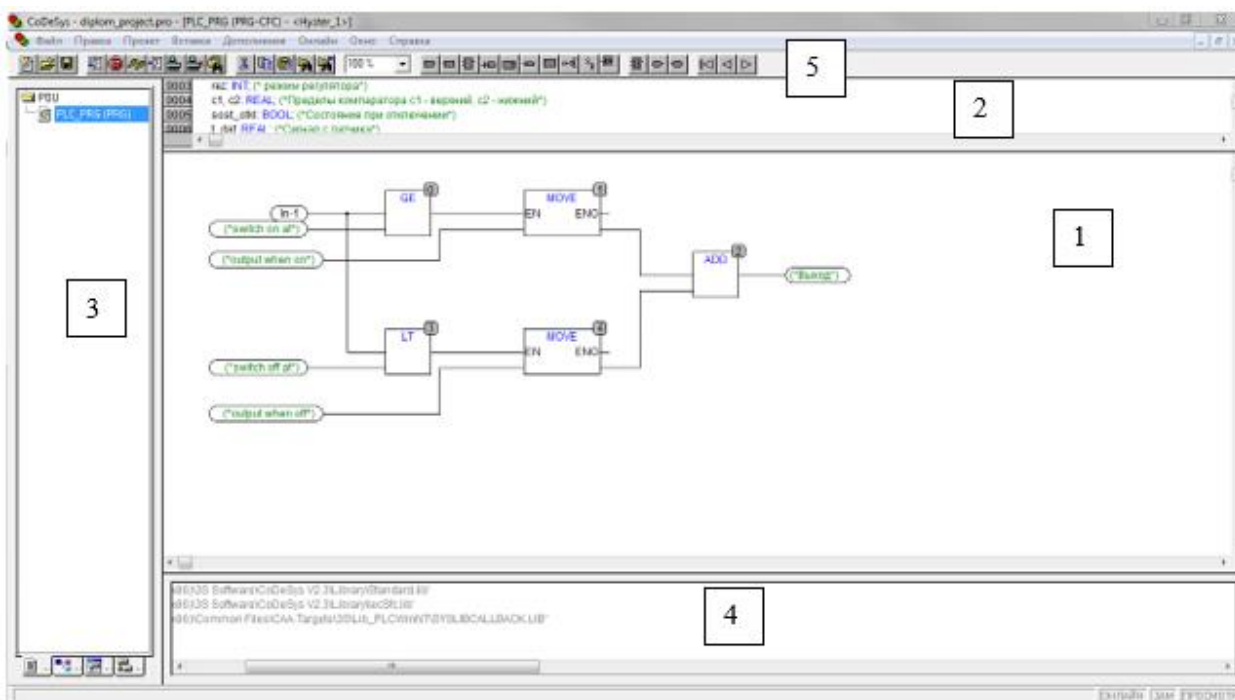


Рисунок Е.2 – Главный экран программной среды CoDeSys

Из-за особенностей представленного программного обеспечения, многие дополнительные блоки, которые были в других программных средствах, отсутствуют. Поэтому, одной из задач данного раздела будет разработка подобных структур.

Таким образом, блок «Гистерезисный элемент» составленный на основе логических блоков и блока сравнения в среде CODESYS, будет иметь вид, представленный на рисунке 1.7.3.

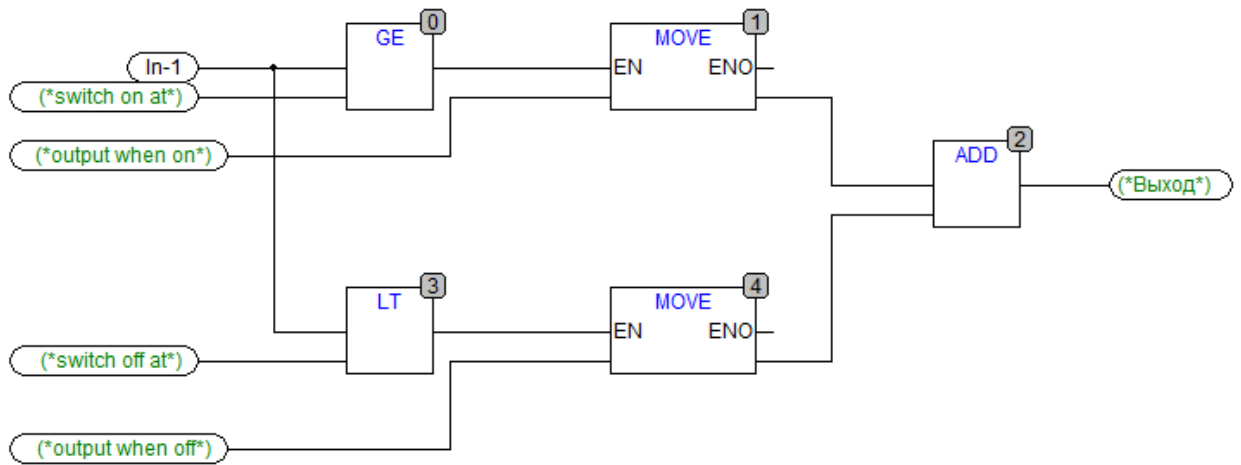


Рисунок Е.3 – Блок «Гистерезисный элемент» в среде CODESYS

Далее, для дальнейшего составления схемы, все элементы с оператором Лапласа необходимо привести к удобной для программирования, дискретной форме, которая будет применена в данном средстве программирования. В качестве примера будет рассмотрено типовое апериодическое звено первого порядка:

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{1}{1 + Ts}$$

Далее будут произведены следующие преобразования:

$$x(s) = y(s) + T \cdot s \cdot y(s)$$

$$x = y + T \cdot \frac{y_{+1} - y}{\Delta t}$$

$$\text{где } s \cdot y(s) \equiv \frac{dy(t)}{dt} \cong \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Данная система представлена следующим образом:

$$y = y + (x - y) \cdot \Delta t / T$$

Реализация данного блока в CODESYS представлена на рисунке 1.7.4:

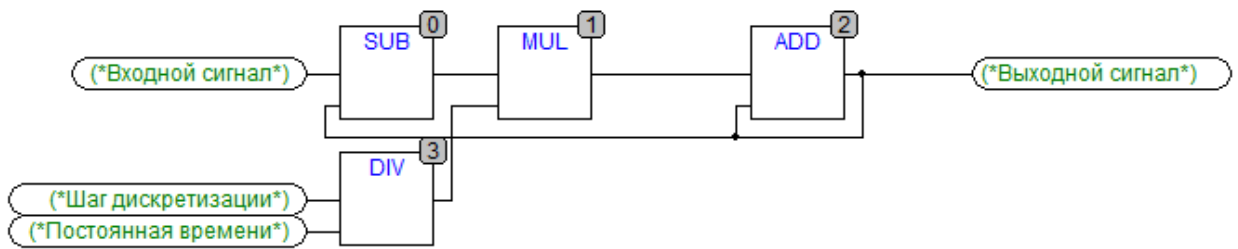


Рисунок Е.4 – Блок «Transfer function» в среде CODESYS

При подобной реализации блоков, система будет применима в реальных системах.

Интегратор представлен в следующем виде (Рисунок 1.7.5):

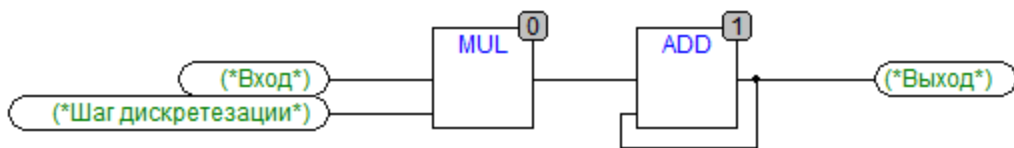


Рисунок Е.5 – Блок «Интегратор» в среде CODESYS

ПИ-регулятор (Рисунок 1.7.6):

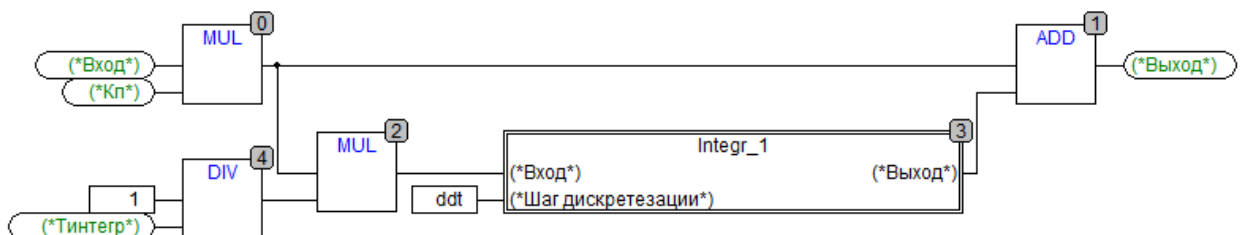


Рисунок Е.6 – Блок «ПИ-регулятор» в среде CODESYS

Ограничитель с верхним пределом ограничения (Рисунок 1.7.7):

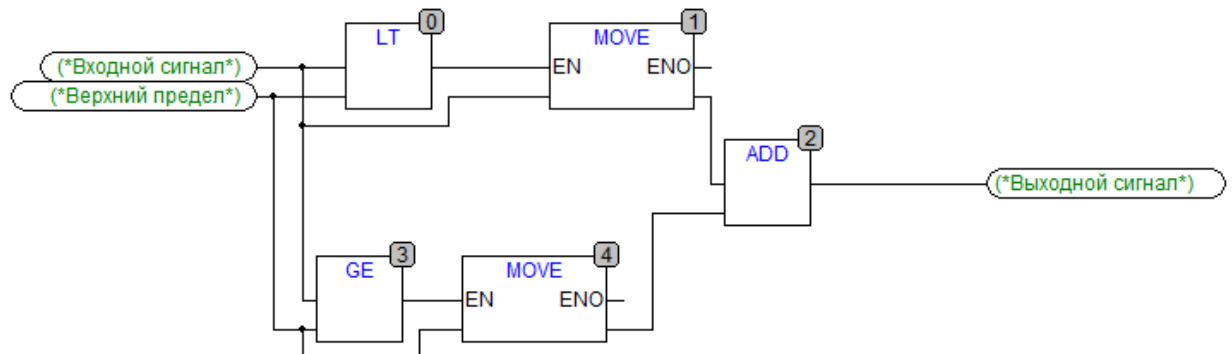


Рисунок Е.7 – Блок «Ограничитель» в среде CODESYS

В данном случае, можно обойтись лишь ограничением верхнего предела. Элемент «MOVE» присваивает значение одной переменной другой

соответствующего типа. Управление производится с помощью входа «EN» (разрешать или запрещать операцию). Только если EN=TRUE (1), значению выходной переменной будет присвоено значение входной

Функция отображения в частотном управлении, с температурой на выходе представлена следующим образом (Рисунок 1.7.8):

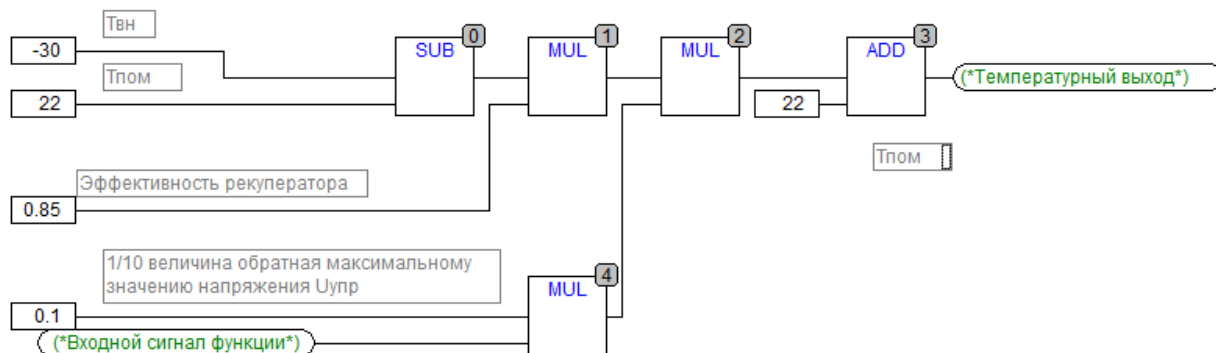


Рисунок Е.8 – Функция отображения в частотном управлении, с температурой на выходе в среде CODESYS

Оставшиеся блоки имеют схожую с вышеописанными блоками структуру, так как блоки «Преобразователь частоты», «Асинхронный двигатель», «Переход на нужную температуру», «Цепочка разморозки» представлены в виде аperiodических звеньев, но с разными коэффициентами передачи и постоянными времени.

Имитационная модель, составленная ранее и построенная в SciLab в среде CODESYS, будет иметь вид, представленный в приложении Д.

Приложение Е.2

Подключение к программируемому логическому контроллеру
 Далее, для привязки данной модели к реальному устройству, необходимо подключить к реальным устройствам. Из системы моделирования была удалена часть, относящаяся к модели, и оставшиеся неподключенные линии, являются датчиками или исполнительными элементами.

Упрощенная схема представлена на рисунке 1.8.1

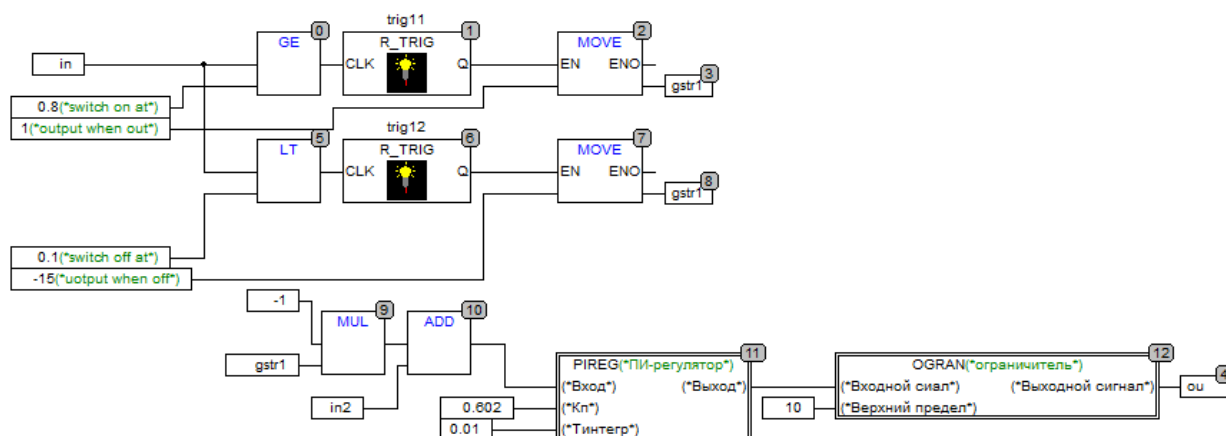


Рисунок Е.9 – Схема для настройки контроллера

Выбор логического контроллера будет производиться из модельного ряда контроллеров ОВЕН ПЛК150, так как данный вид программируемых контроллеров поддерживается средой CoDeSys. Основанием для выбора будет служить следующее описание моделей [16] (рисунок Е.10)



Рисунок Е.10 – Модельный ряд контроллеров ОВЕН ПЛК150-220.

В результате был выбран ОВЕН ПЛК150-220.А-L.

Представленный контроллер питается от сети 220 В, и имеет 4 аналоговых входа и 2 выхода, что вполне достаточно, для реализации данного решения.

Принципиальная схема ОВЕН ПЛК150-220.А-Л представлена в приложении Е.1.

Ко входу «in»(), разработанной модели, необходимо подключить датчик перепада давления, для контроля уровня заиневаания. Уровень заиневаания будет измеряться в относительных единицах (где 0 – полное заиневаание, 1 – без инея). Для данного датчика, будет использован аналоговый вход 1.

Информацию о перепаде давления будет предоставлять дифференциальный преобразователь давления Polar Bear DPM-2500D [17] (Приложение Е.2).

Необходимо произвести настройку в CoDeSys (Рисунок Е.11)

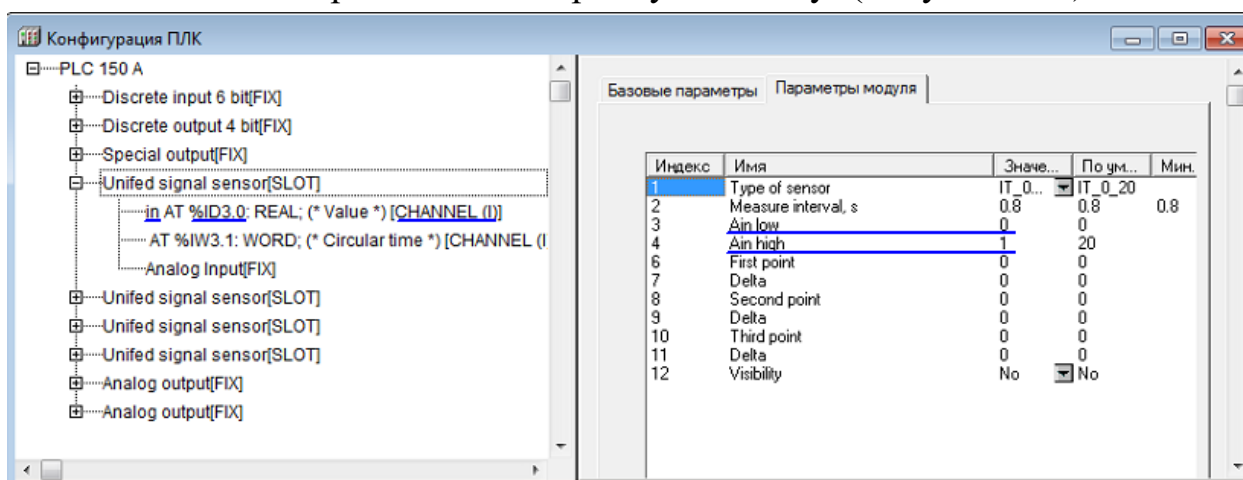


Рисунок Е.11 – Настройка датчика в среде CoDeSys

Данному входу соответствует идентификатор №3. Также здесь присвоена переменная «in» и предельные значения соответствуют 0 и 1.

Аналогично производится настройка датчика температуры, который подключается ко входу «in2».

В случае ограниченного бюджета, в системе можно использовать дифференциальное реле давления, переключающее систему в соответствующий режим при определенных заданных условиях.

В данном случае в системе будет применен датчик Polar Bear DPS-500N, производства компании «Арктика» [18] (Приложение Е.3).

Привязка датчика к системе будет осуществляться в программной среде CoDeSys, схема подключения представлена на рисунке 1.8.4.

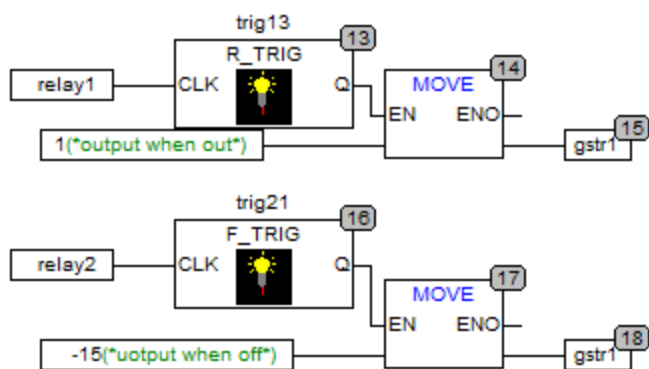


Рисунок Е.12 – Схема подключения выходов реле Polar Bear DPS-500N

Где выход «relay1» является нормально открытым контактом реле давления, а «relay2» нормально закрытым. При достижении предельных значений, реле срабатывает и элемент «MOVE» пропускает сигнал задания ((*output when off*) и (*output when out*)), при этом фиксируясь триггером.

Данные выходы будут подсоединены к дискретным входам предоставленного логического контроллера (рисунок 1.8.5).

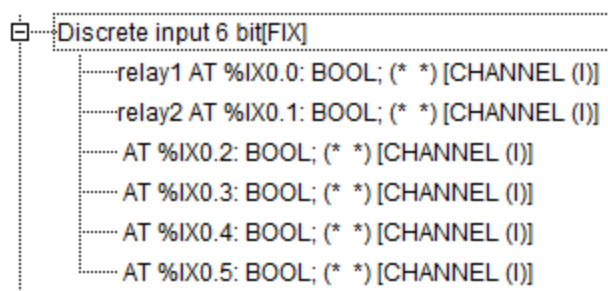


Рисунок Е.13 – Подключение выходов реле перепада давления

Для лучшей совместимости, будет выбран датчик, из модельного ряда ОВЕН. Основанием для выбора будет служить следующее описание моделей датчиков [19] (Приложение Е.4).

В результате выбран датчик ОВЕН ДТС045-50М.В3.20.

Также для представленного датчика необходимо выбрать программируемый нормирующий температурный преобразователь. Для лучшей совместимости был выбран преобразователь ОВЕН. Основанием для выбора будет служить следующее описание моделей преобразователей (Приложение Е.5).

В результате выбран преобразователь температуры ОВЕН НПТ-2.11.1.2. Настройка в CoDeSys (Рисунок 1.8.6)

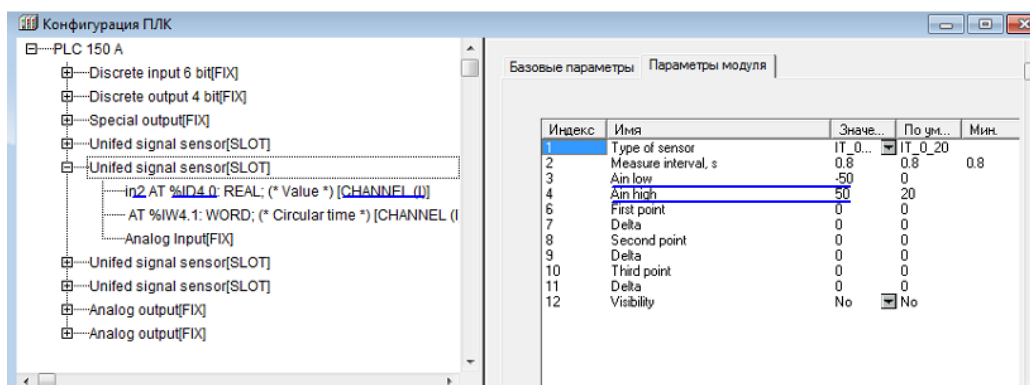


Рисунок Е.14 – Настройка датчика в среде CoDeSys

Данному входу соответствует идентификатор №4. Также здесь присвоена переменная «in2» и предельные значения соответствуют -50 и 50. Аналогично с выходом.

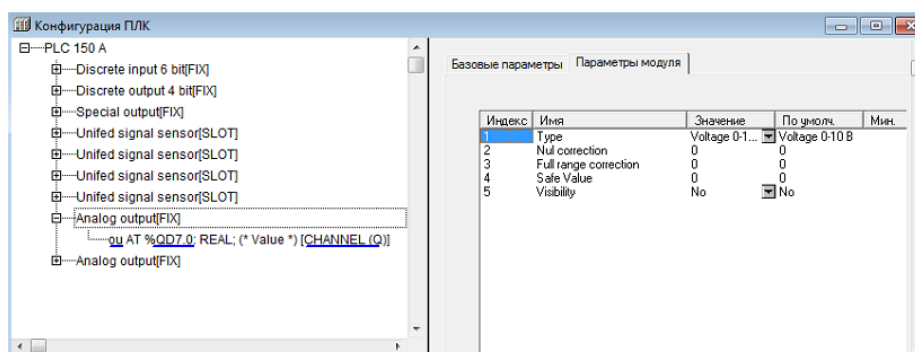


Рисунок Е.15 – Настройка аналогового выхода в среде CoDeSys

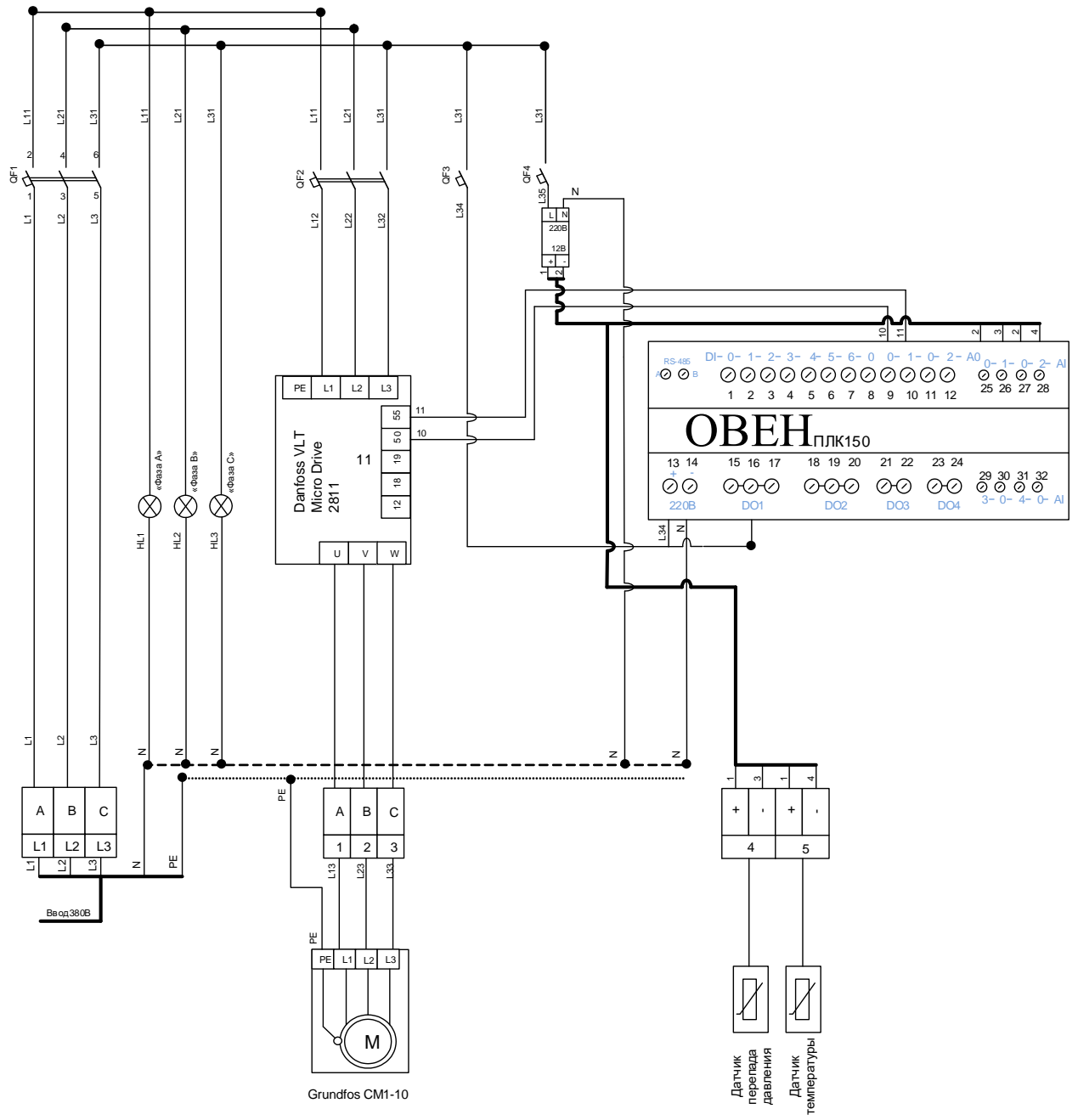
Данному выходу соответствует идентификатор Q. Также здесь присвоена переменная «ou» и предельные значения управляющего сигнала соответствуют 0 – 10 В.

На основании полученных результатов, была построена принципиальная схема, представленная в Приложении Ж, пригодная для монтажа реальной схемы и является исходной информацией для монтажника, выполняющего сборку и установку. Все элементы являются доступными и выбраны по методикам, которые были освоены в процессе обучения. Специалист производящий монтаж должен обладать 3 разрядом и группой допуска (до 1000 В) по электробезопасности не ниже 3

При эксплуатации и испытаниях установки должны соблюдаться «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и требования ГОСТ 12.3.019.

Для получения наилучших показателей, при пуско-наладке возможно изменение параметров регулирующих компонентов модели в ПЛК.

Приложение Ж.



Приложение 3.1

Оценочная карта для сравнения конкурентных тех разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0.05	1	1	1	0.05	0.05	0.05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Уровень шума	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Надежность	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Безопасность	0.1	3	3	3	0.3	0.3	0.3
Энергоэкономичность	0.125	4	1	1	0.5	0.125	0.125
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	5	2	3	0.5	0.2	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.05	5	2	2	0.25	0.1	0.1
Цена	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
Послепродажное обслуживание	0.075	4	3	4	0.3	0.225	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	4	1	1	0.2	0.05	0.05
Наличие сертификации разработки	0.05	2	1	1	0.25	0.05	0.05
Итого	1	49	30	32	3.8	2.4	2.575

Приложение 3.2

Оценочная карта для сравнения конкурентных тех разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)	П _{ср}
1	2	3	4	5	6	
Показатели оценки качества разработки						
Надежность	0.05	75	100	0.75	56.25	2.8125
Энергоэффективность	0.125	80	100	0.8	64	8
Унифицированность	0.05	80	100	0.8	64	3.2
Уровень материалоемкости разработки	0.05	50	100	0.5	25	1.25
Уровень шума	0.075	60	100	0.6	36	2.7
Безопасность	0.05	70	100	0.7	49	2.45
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.15	95	100	0.95	90.25	13.53
Ремонтопригодность	0.1	60	100	0.6	36	3.6
Простота эксплуатации	0.05	85	100	0.85	72.25	3.612
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки						
Конкурентоспособность продукта	0.05	95	100	0.95	90.25	4.512
Уровень проникновения на рынок	0.075	95	100	0.95	90.25	6.77
Перспективность рынка	0.05	90	100	0.9	81	4.05
Цена	0.05	50	100	0.5	25	1.25
Финансовая эффективность научной разработки	0.075	70	100	0.7	49	3.675
Итого	1	1055	1400	10.55	828.25	61.42

Приложение 3.3

Матрица SWOT (предварительная таблица)

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Разработка позволит сэкономить большое количество ресурсов</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Простота в управлении</p> <p>С4. Доступность материалов</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Имеются опытные образцы</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сложная система.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с системой.</p> <p>Сл3. Цена.</p> <p>Сл4. Неосведомленность клиентов.</p> <p>Сл5. Шум при работе</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Появление более дешевых материалов.</p> <p>В4. Дальнейшее улучшение надежности</p> <p>В5. Лучшее подавление шума</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Возможное появление у конкурентов, систем для цехов.</p> <p>У2. Дороговизна может препятствовать покупке продукта</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У4. Сложность с обеспечением исследуемых материалов.</p>		

Приложение 3.4

Интерактивные матрицы проекта SWOT

Интерактивная матрица проекта С-В

		Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	В1	+	+	+	+	–	–
	В2	+	+	+	0	0	+
	В3	–	–	+	+	0	+
	В4	0	0	+	0	+	+
	В5	–	+	–	–	–	+

Интерактивная матрица проекта С-У

		Сильные стороны проекта					
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5	С6
	У1	+	+	+	+	–	0
	У2	–	–	–	+	–	–
	У3	–	+	–	+	0	–
	У4	–	0	–	+	–	–

Интерактивная матрица проекта Сл-В

		Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	–	+	–	+
	В2	+	+	+	+	0
	В3	0	0	–	+	0
	В4	0	0	–	0	+
	В5	–	–	+	–	+

Интерактивная матрица проекта Сл-У

		Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	0	0
	У2	–	+	+	0	–
	У3	–	+	–	–	+
	У4	0	–	+	–	+

Приложение 3.5

Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Разработка позволит сэкономить большое количество ресурсов С2. Экологичность технологии. С3. Простота в управлении С4. Доступность материалов С5. Квалифицированный персонал. С6. Имеются опытные образцы	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложная система. Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с системой. Сл3. Цена. Сл4. Неосведомленность клиентов. Сл5. Шум при работе
Возможности: В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Появление более дешевых материалов. В4. Дальнейшее улучшение надежности В5. Лучшее подавление шума	С1В1В2 С2В1В2В5 С3В1В2В3В4 С4В1В3 С5В4	Сл1В1В2 Сл2В2 Сл3В1В2В5 Сл4В2В3 Сл5В1В2В5
Угрозы: У1. Возможное появление у конкурентов, систем для цехов. У2. Дороговизна может препятствовать покупке продукта У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Сложность с обеспечением исследуемых материалов.	С1У1 С2У1У3 С3У1 С4У1У2У3У4	Сл1У1 Сл2У1У2У3 Сл3У1У2У4 Сл5У3У4

Приложение 3.6

Диаграмма Ганта

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнитель и			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожг}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технического задания	1	5	2	2	8	4	1,4	6,2	2,8	1	2	1	1,4	3,1	2,8	1,7	3,8	3,4
Подбор и изучение материалов по теме	1	5	3	2	8	4	1,4	6,2	3,4	1	2	1	1,4	3,1	3,4	1,7	3,8	4,1
Выбор направления исследований	1	4	1	3	8	3	1,8	5,6	1,8	1	2	1	1,8	2,8	1,8	2,2	3,4	2,2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	2	5	1,4	1,4	3,2	1	1	1	1,4	1,4	3,2	1,7	1,7	3,9
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	10	4	8	14	8	5,6	11,6	5,6	1	2	1	5,6	5,8	5,6	6,8	7,1	6,8
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	28	28	7	40	40	8	32,8	32,8	7,4	2	2	2	16,4	16,4	3,7	20	20	4,5
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическим и данными	5	10	5	7	20	7	5,8	14	5,8	1	2	1	5,8	7	5,8	7,1	8,5	7,1
Оценка эффективности полученных результатов	2	8	2	3	11	3	2,4	9,2	2,4	1	2	1	2,4	4,6	2,4	2,9	5,6	2,9
Составление пояснительной записки	4	7	4	7	14	7	5,2	9,8	5,2	1	1	1	5,2	9,8	5,2	6,3	11,9	6,3
Публикация полученных результатов	1	1	1	7	7	7	3,4	3,4	3,4	1	1	1	3,4	3,4	3,4	4,1	4,1	4,1

Приложение 3.7

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{к.п.} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																		
				февр.			март			апрель			май			июнь						
				2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2					
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	3,8	■																		
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и лаборант	3,8	■	⊠																	
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	3,4	■	■																	
4	Календарное планирование работ по теме	Лаборант	1,7		⊠																	
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер и лаборант	7,1			■	⊠															
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер и лаборант	20				■	⊠														
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер и научный руководитель	8,5						■	■												
8	Оценка эффективности и полученных результатов	Инженер и научный руководитель	5,6						■	■												
9	Составление пояснительной записки	Инженер	11,9							■	■											
10	Публикация полученных результатов	Инженер	4,1									■	■									

■
Научный
руководитель

■
Инженер

⊠
Лаборант

Приложение 3.8

Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,4	6,2	2,8	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	6464,94
					Инженер						1848,18			11458,71	
2	Подбор и изучение материалов по теме			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,4	6,2	3,4	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	7850,29
					Лаборант						1206,56			7480,67	
3	Выбор направления исследований			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,8	5,6	1,8	2308,91	2308,91	2308,91	4156,03	12929,89	4156,03
					Инженер						1848,18			10349,80	
4	Календарное планирование работ по теме			Лаборант	Лаборант	Лаборант	1,4	1,4	3,2	1206,56	1206,56	1206,56	1689,18	1689,18	3860,99
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований			Инженер	Инженер	Инженер	5,6	11,6	5,6	1848,18	1848,18	1848,18	10349,80	21438,88	10349,80
					Лаборант						1206,56			13996,09	
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов			Инженер	Инженер	Инженер	32,8	32,8	7,4	1848,18	1848,18	1848,18	60620,30	60620,30	13676,53
					Лаборант						1206,56			1206,56	
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными			Инженер	Научный руководитель	Инженер	5,8	14	5,8	1848,18	2308,91	1848,18	10719,44	32324,74	10719,44
					Инженер						1848,18			25874,52	
8	Оценка эффективности полученных результатов			Инженер	Научный руководитель	Инженер	2,4	9,2	2,4	1848,18	2308,91	1848,18	4435,63	21241,972	4435,632
					Инженер						1848,18			17003,256	
9	Составление пояснительной записки			Инженер	Инженер	Инженер	5,2	9,8	5,2	1848,18	1848,18	1848,18	9610,53	18112,16	9610,53
10	Публикация полученных результатов			Инженер	Инженер	Инженер	3,4	3,4	3,4	1848,18	1848,18	1848,18	6283,81	6283,81	6283,81
Итого:													153904,9	322725,86	86336,58