

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения

УДК 004.896:628.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Афанасьев Андрей Анатольевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	способностью разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-2	способностью проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения
ПК(У)-3	способностью: составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы
ПК(У)-4	способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты

	автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки конкурентоспособной продукции, проводить технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектов, оценивать их инновационный потенциал и риски
ПК(У)-5	способностью разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 / 2021 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.03.21	Техническое задание	10
22.03.21	Обзор литературы	10
12.05.21	Проектирование автоматизированной системы	50
20.05.21	«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	15
31.05.21	«Социальная ответственность»	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		01.03.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		01.03.2021

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Гайворонский С. А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Афанасьеву Андрею Анатольевичу

Тема работы:

Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения

Утверждена приказом директора (номер, дата)	№ 50-10/с от 19.02.2021
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является производственное помещение длиной 25 м, шириной 12 м, высотой 4 м. Режим работы непрерывный.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Описание технологического процесса; Разработка структурной схемы автоматизированной системы; Разработка функциональной схемы автоматизации; Выбор средств реализации автоматизированной системы; Разработка схемы соединения внешних проводок; Разработка алгоритмов управления автоматизированной системы;

	Моделирование работы системы управления. Разработка экранных форм.
Перечень графического материала	Структурная схема; Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208–2013; Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-S 5.1–2009; Схема соединения внешних проводок; Алгоритм пуска системы; Алгоритм останова системы; Экранная форма.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2021
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		01.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Афанасьев Андрей Анатольевич		01.03.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Афанасьеву Андрею Анатольевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Примерный бюджет проекта – 234,2 тыс руб.; В реализации проекта задействованы два человека: научный руководитель, инженер.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30% Минимальный размер оплаты труда (на 01.01.2021) 12792 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 20 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование работ, разработка диаграммы Ганта, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,508; Интегральный показатель эффективности – 4,7 Сравнительная эффективность проекта – 1,08

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НТИ
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н., доцент		01.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Афанасьев Андрей Анатольевич		01.03.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Афанасьеву Андрею Анатольевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Рабочее место оператора представляет собой помещение закрытого типа, в котором установлен персональный компьютер.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 – ГОСТ 12.0.003-2015 – СНиП 23-05-95 – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 – СанПиН 2.2.4.548-96 – СанПиН 2.2.4.1191-03 – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – ГОСТ 12.1.019-2017
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы при разработке и эксплуатации объекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – освещенность на рабочем месте; – микроклимат на рабочем месте; – уровень шума на рабочем месте; – уровень электромагнитных излучений на рабочем месте. <p>Опасных факторов при разработке и эксплуатации объекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	Провести влияние вредных факторов на атмосферу, гидросферу, литосферу.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	Типичной чрезвычайной ситуацией для рабочего места оператора является – пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		01.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Афанасьев Андрей Анатольевич		01.03.2021

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 131 страницу, 45 рисунков, 44 таблицы, 64 использованных источника, 6 приложений.

Ключевые слова: микроклимат, автоматизированная система управления, программируемый логический контроллер, ПИД-регулятор.

Объектом исследования является производственное помещение.

Цель работы – повысить экономичность системы и точность значений параметров микроклимата в производственном помещении.

В процессе исследования проводилось моделирование системы поддержания параметров микроклимата, настройка регуляторов по пяти каналам управления, анализ качества работы системы при внешнем воздействии.

В результате исследования была разработана система автоматизированного управления параметрами микроклимата в производственном помещении, основанная на контроллере ОВЕН ПЛК 160.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: система разработана для помещения длиной 25 м, шириной 12 м и высотой 4 м, в котором присутствует источник переменного тока 220 В и 50 Гц.

Степень внедрения: система управления параметрами микроклимата может быть внедрена в промышленные помещения.

Область применения: система управления параметрами микроклимата может применяться в промышленных предприятиях по производству товаров, складских помещениях, офисных помещениях, объектах жилищно-коммунальной сферы.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в снижении затрат на энергетические ресурсы системы, а также переход к автоматизированному регулированию параметров микроклимата.

В будущем планируется повысить точность измерений параметров микроклимата за счет улучшения методов обработки данных.

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

автоматизированное рабочее место: Программно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида» [1].

автоматизированная система: Комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для управления различными процессами в рамках технологического процесса [2].

интерфейс: Это совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил взаимодействия между элементами системы» [3].

техническое задание на автоматизированную систему: Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы [4].

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АС – автоматизированная система;

АСУ – автоматизированная система управления;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ФСА – функциональная схема автоматизации.

Оглавление

Введение	15
1. Техническое задание	16
1.1 Назначение и цели создания системы	16
1.2 Требования к автоматике	16
1.3 Требования к техническому обеспечению	17
1.4 Требования к информационному обеспечению	17
1.5 Требования к программному обеспечению	18
1.6 Требования к метрологическому обеспечению	18
2. Обзор литературы	19
2.1 Восприятие микроклимата в помещениях и управления спросом в Швеции	19
2.2 Аналитика данных об окружающей среде для мониторинга внутренней среды офисных зданий в жарком и влажном климате	22
3. Проектирование автоматизированной системы	26
3.1 Описание технологического процесса	26
3.2 Разработка структурной схемы	27
3.3 Разработка функциональной схемы автоматизации	28
3.4 Выбор средств реализации АС	28
3.4.1 Выбор контроллерного оборудования	29
3.4.2 Выбор датчиков	30
3.4.2.1 Выбор датчика температуры и влажности	30
3.4.2.2 Выбор датчика концентрации твердых веществ	32
3.4.2.3 Выбор датчика расхода	33
3.4.2.4 Выбор датчика температуры воды	34
3.4.2.5 Выбор датчика уровня воды	35
3.4.3 Выбор исполнительных механизмов	36
3.4.3.1 Выбор радиатора	36
3.4.3.2 Выбор вентиляции	38
3.4.3.3 Выбор теплообменника	40

3.4.3.4	Выбор увлажнителя воздуха	41
3.4.3.5	Выбор осушителя воздуха	43
3.4.3.6	Выбор регулирующего клапана	44
3.4.3.7	Выбор частотного преобразователя	46
3.5	Схема производственного помещения	47
3.6	Разработка схемы внешних проводок	48
3.7	Разработка алгоритмов управления	49
3.7.1	Разработка алгоритма пуска	49
3.7.2	Разработка алгоритма останова	50
3.7.3	Разработка алгоритма автоматического регулирования	50
3.7.3.1	Математическая модель системы	51
3.7.3.2	Настройка регулятора	65
3.7.3.3	Анализ поведения системы при внешнем воздействии ..	72
3.8	Разработка экранных форм	73
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	74
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	74
4.2	Анализ конкурентных технических решений	75
4.3	SWOT-анализ	77
4.4	Планирование научно-исследовательских работ	78
4.4.1	Структура работ в рамках научного исследования	78
4.4.2	Разработка графика проведения научно-технического исследования	79
4.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	82
4.5.1	Расчет материальных затрат НТИ	82
4.5.2	Расчет амортизационных отчислений	83
4.5.3	Расчет заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды	83
4.5.4	Расчёт общей себестоимости	86
4.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,	

бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	87
5. Социальная ответственность	91
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	91
5.2 Производственная безопасность	94
5.2.1 Освещенность на рабочем месте	94
5.2.2 Микроклимат на рабочем месте	97
5.2.3 Уровень шума на рабочем месте	98
5.2.4 Уровень электромагнитных излучений на рабочем месте	99
5.2.5 Поражение электрическим током	100
5.3 Экологическая безопасность	101
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	102
Выводы по разделу «Социальная ответственность»	104
Заключение	105
Список используемых источников	106
Приложение А (обязательное) Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013	114
Приложение Б (обязательное) Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-S5.1-2009	116
Приложение В (обязательное) Схема внешних проводок	118
Приложение Г (обязательное) Блок схема алгоритмов пуска / останова	120
Приложение Д (обязательное) Экранная форма	122
Приложение Е (справочное) Mathematical model of the system	124

Введение

Состояние здоровья человека, его работоспособность в значительной степени зависят от микроклимата в помещении. Не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, люди располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Микроклимат помещений — это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

Факторы, влияющие на микроклимат, можно разделить на две группы: нерегулируемые (комплекс климатообразующих факторов данной местности) и регулируемые (особенности и качество строительства зданий и сооружений, интенсивность теплового излучения от нагревательных приборов, кратность воздухообмена, количество людей в помещении и др.).

При длительном и систематическом пребывании человека в оптимальных микроклиматических условиях сохраняется нормальное функциональное и тепловое состояние организма без напряжения механизмов терморегуляции. При этом ощущается тепловой комфорт (состояние удовлетворения внешней средой), обеспечивается высокий уровень работоспособности. Такие условия предпочтительны на рабочих местах [5].

Объектом исследования является производственное помещение.

1. Техническое задание

Объектом управления является производственное помещение длиной 25 м, шириной 12 м, высотой 4 м. Ограждающая конструкция представляет собой кирпичную стену.

1.1 Назначение и цели создания системы

Автоматизированная система поддержания параметров микроклимата в производственном помещении предназначена для:

- контроля состояния основного и вспомогательного технологического оборудования;
- управления исполнительными механизмами, как в автоматическом, так и в автоматизированном режиме;
- определения аварийных ситуаций в работе датчиков и оборудования;
- поддержания параметров микроклимата на заданном уровне, путем обогрева или охлаждения, увлажнения или осушения, а также вентиляции воздуха в помещении;
- визуального представления информации о состоянии технологического процесса.

Цели создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП):

- повышение качества работы системы;
- обеспечение экономичного расхода ресурсов;
- обеспечение контроля технологических параметров процесса;
- сокращение числа аварий технологического оборудования.

1.2 Требования к автоматике

АСУ ТП поддержания параметров микроклимата в помещении должна обеспечить следующее:

1. Измерение:

- температуры воздуха в производственном помещении;

- влажности воздуха в производственном помещении;
- уровня запыленности воздуха в производственном помещении;
- температуры теплоносителя в трубопроводе;
- температуры устройства обогрева;
- расхода теплоносителя;
- уровня воды в резервуаре устройства осушения.

2. Управление:

- клапаном запорно-регулирующим системы обогрева;
- клапаном запорно-регулирующим системы охлаждения;
- устройством увлажнения;
- устройством осушения;
- устройством вентиляции.

3. Индикацию:

- измеряемых параметров на дисплее автоматизированного рабочего места (АРМ);
- аварийных ситуаций на дисплее АРМ.

4. Сигнализацию:

- повышения уровня воды в резервуаре системы осушения выше критического уровня;
- нарушения работы датчиков.

1.3 Требования к техническому обеспечению

Оборудование на объекте должно быть устойчивым к воздействию температур (0 – 50) °С и влажности не менее 80 % при 35 °С.

Электрические цепи должны быть экранированные.

Контроллеры должны иметь необходимые интерфейсы передачи данных на верхний уровень АСУ ТП.

1.4 Требования к информационному обеспечению

Информационное обеспечение должно включать в себя:

- структуру процесса сбора, обработки, передачи информации в автоматической системе (АС);
- состав, структуру и способы организации данных в АС;
- порядок информационного обмена между компонентами и составными частями АС;
- информацию по визуальному представлению данных и результатам мониторинга.

1.5 Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение должно:

- обеспечивать управление исполнительными механизмами;
- иметь возможность создавать и вести базу данных по параметрам системы;
- обеспечить реализацию требуемых алгоритмов контроля, регулирования, и отображения информации.

1.6 Требования к метрологическому обеспечению

Метрологическое обеспечение должно охватывать все стадии создания системы и ее эксплуатацию.

В измерительные каналы системы входят: датчики, преобразователи, контроллеры, прошедшие государственную поверку на соответствие их нормативно-технической документации.

В процессе эксплуатации должна производиться периодическая поверка измерительных каналов системы и метрологических характеристик.

2. Обзор литературы

Изучим способы и результаты исследований влияния климата на окружающих людей, сырье, проведенные в мире, а также точность измерений датчиков температуры и влажности.

2.1 Восприятие микроклимата в помещениях и управления спросом в Швеции

Выбросы, связанные со зданиями, выросли до 28% от глобальных выбросов углекислого газа, связанных с энергетикой, с учетом косвенных выбросов от первичного производства электроэнергии.

Переход от энергетических систем, основанных в основном на ископаемом топливе, к 100% возобновляемым источникам энергии, представляет собой проблему интеграции более нестабильного энергоснабжения. Это мотивирует внедрение стратегий управления со стороны спроса для создания большей энергетической гибкости в зданиях за счет переключения нагрузки, сокращения пиков и заполнения впадин. Один из подходов – использовать тепловую инерцию зданий для хранения энергии.

Отопление помещений составляет основную долю от общего потребления энергии жилой площади и связанного с ним выбросов углекислого газа. Подход, который часто предлагают улучшить как экологические, так и экономические показатели энергетической системы, – это управление спросом. В этой статье оценивается тепловое восприятие жильцами 33 многоквартирных домов, подключенных к централизованному теплоснабжению в Швеции. Участники записывали свои тепловые ощущения и тепловое удовлетворение в дневниках.

Общая цель исследования, представленного в этом документе, заключалась в том, чтобы лучше понять восприятие температурных условий внутри дома и управление спросом на отопление жилых помещений с точки зрения жителей.

В таблице 1 представлена схема управления сдвигами нагрузки во время испытания. Отрицательное число указывает на снижение мощности, а

положительное число указывает на увеличение мощности. Схема управления, применявшаяся во время испытания, представляет собой испытание с целью оценки функциональных возможностей управления мощностью зданий и анализа влияния выходной мощности.

Таблица 1 – Схема управления сменой нагрузки во время испытания

Дата	Контроль мощности	Время
2019–11–18	Минус 50 %	09:00–10:00
2019–11–20	Минус 50 %	10:00–11:00
2019–11–22	Минус 50 %	01:00–04:00
2019–11–27	Минус 100 %	13:00–13:30
2019–12–01	Минус 25 %	03:00–06:00
2019–12–01	25 %	06:00–07:00

Отношение участников опроса к отоплению и использованию энергии в доме приведено на рисунке 1.

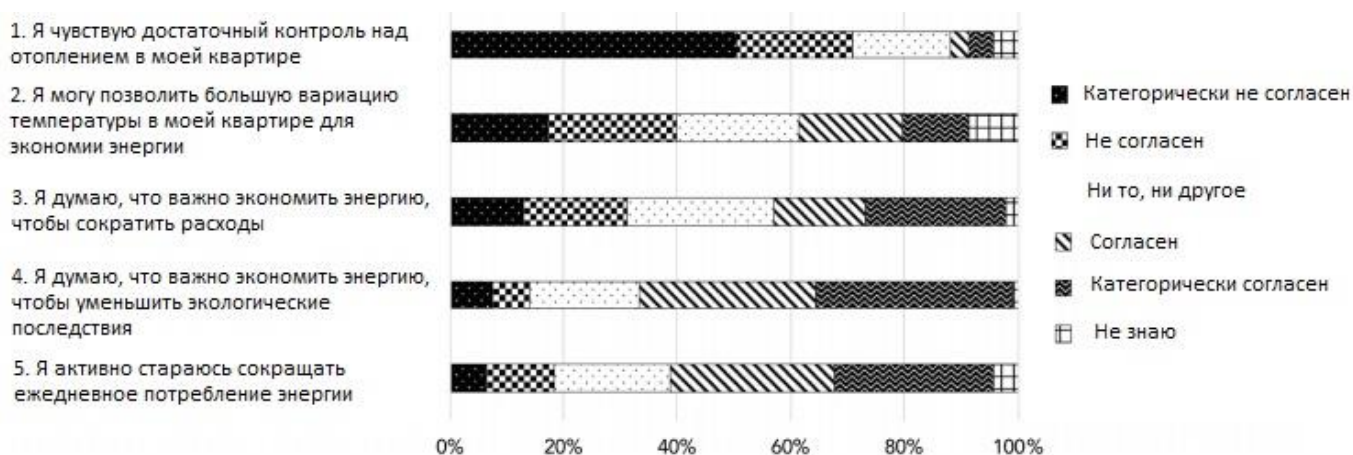


Рисунок 1 – Распределение ответов на заявление об отношении к использованию тепловой энергии в домашних условиях

Результаты показывают, что большинство участников считали, что у них недостаточно контроля над отоплением дома, при этом 71% либо не согласны, либо категорически не согласны с этим утверждением. Некоторые участники попросили более тщательно контролировать температуру в своих квартирах. Хотя радиаторы обычно допускают некоторую регулировку, они, возможно, уже были настроены на максимальный нагрев, и участники не получали достаточно тепла. Другие участники хотели бы иметь возможность самостоятельно

регулировать температуру в радиаторах Утверждение, получившее наибольшее количество баллов, это утверждение, что важно экономить энергию.

В распределение ответов относительно того, насколько участники были удовлетворены температурой дома до испытаний: 44% ответили, что они либо недовольны, либо очень недовольны, тогда как 29% ответили, что они либо довольны, либо очень довольны. При сравнении ответов мужчин и женщин не было обнаружено статистически значимой разницы.

Участников также спросили, что они делали, если им было слишком холодно или слишком тепло дома в течение двух недель испытаний. Распределение ответов показано на рисунках 2 и 3.

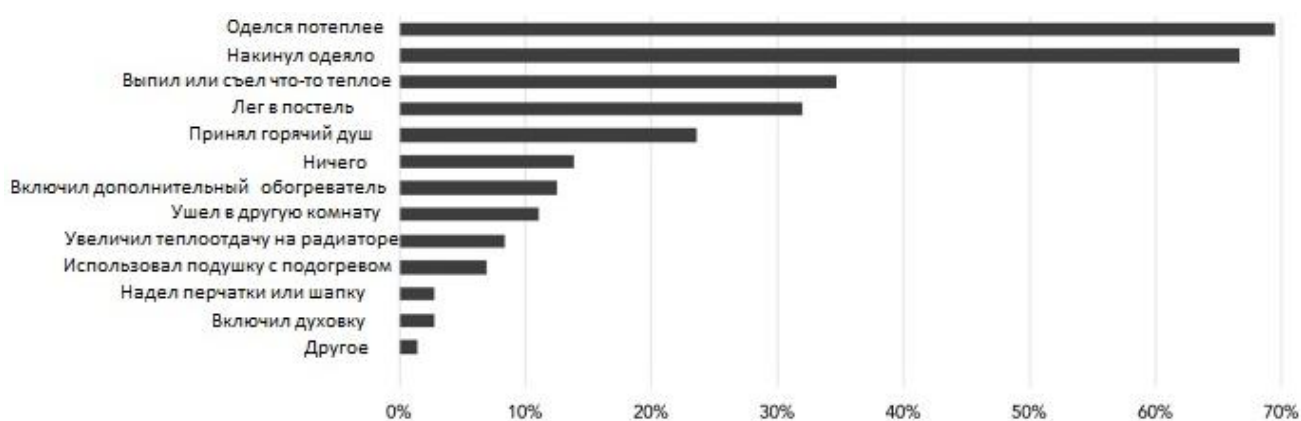


Рисунок 2 – Распределение ответов относительно действий при ощущении холода

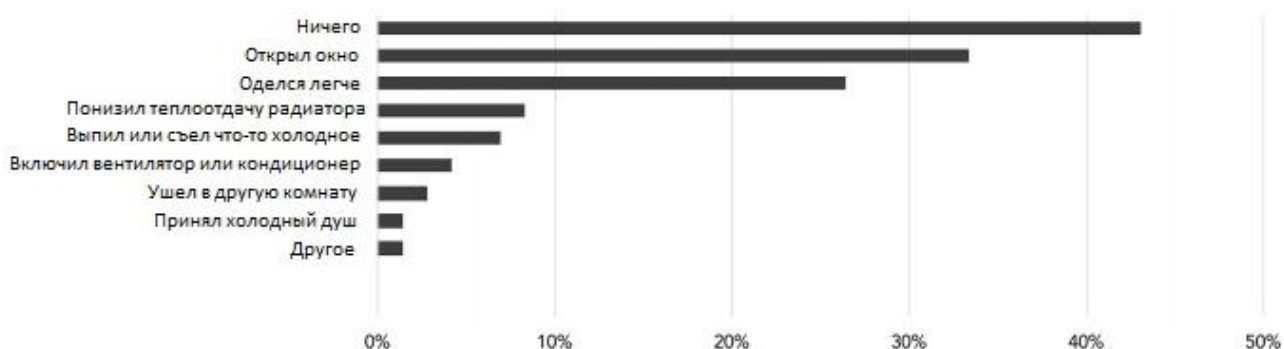


Рисунок 3 – Распределение ответов относительно действий, когда слишком тепло

В целом, были более распространены действия из-за холода, чем из-за тепла. Тем не менее, 33% ответили, что они открывали окно, когда чувствовали себя слишком жарко во время испытания. Обычными действиями при ощущении холода, которое требовало энергии, были выпить или съесть что-нибудь теплое (35%) и принять горячий душ или ванну (24%). 13% ответили, что включили

дополнительный тепловентилятор. Довольно малое количество участников регулировало температуру на радиаторах или подогреве пола, можно частично объяснить отсутствием возможности сделать это, потому что иногда радиаторы были предварительно настроены на максимальный или минимальный уровень.

Анализ теплового восприятия дома во время и после испытания показал, что участники этого исследования обычно ощущали, что температура была ближе к холодной. Тем не менее, средняя температура в помещении была в пределах диапазона, рекомендованного Агентством общественного здравоохранения Швеции, хотя и с большими различиями между отдельными квартирами [6].

2.2 Аналитика данных об окружающей среде для мониторинга внутренней среды офисных зданий в жарком и влажном климате

Быстрая разработка плат с открытым исходным кодом, включающих микроконтроллеры на печатных платах, предложила множество альтернатив в создании реальных и недорогих платформ для мониторинга и управления окружающей средой в помещении. Данные собираются и хранятся в заранее определенных местах на протяжении серии коммуникационных действий между сетью активных датчиков и их блоками обработки. Однако вопрос точности и достоверности данных вызывает серьезную проблему при получении базовой информации. Поэтому, имея это в виду, цель данной статьи состоит в том, чтобы подчеркнуть проницательную тенденцию получения данных о внутренней среде (температуре и относительной влажности) для офисного здания в условиях жаркого и влажного климата. Параметры в помещении контролировались с помощью комбинации одноплатного микроконтроллера с активным датчиком с хорошо откалиброванными приборами теплового микроклимата. Соответственно, было обнаружено, что можно проводить упреждающую корректировку, чтобы минимизировать потери.

Параметры, полученные в результате мониторинга окружающей среды в помещении, включают температуру и относительную влажность. Исходные данные были разделены на две части: одну, полученную с платформы на базе

Arduino, и одну из теплового микроклимата. Данные образца, представляющие 20 минут, были собраны в течение двух последовательных дней и были разделены на две серии: первая серия (S1) с 10.07 до 10.27 и вторая серия (S2) с 11.07 до 11.27. После этого оба набора данных подверглись количественному анализу, чтобы получить представление о надежности данных с использованием данных, полученных из теплового микроклимата, в качестве исходных.

На рисунке 4 показана структура платформы мониторинга внутренней среды на базе Arduino.

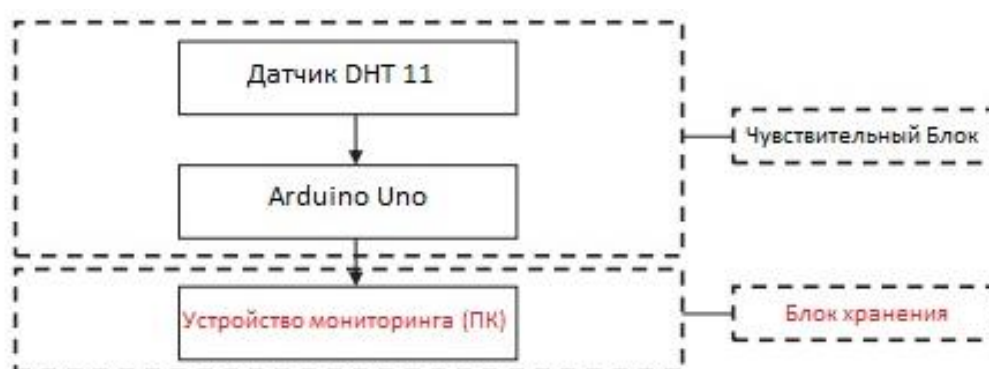


Рисунок 4 – Структура платформы мониторинга на базе Arduino

В данном примере сенсорный блок состоит из датчика DHT 11 и платы Arduino Uno (ATmega328P). Связь между модулем датчика DHT11 и платой Arduino была назначена на цифровой вывод через последовательный канал связи. Согласно технической спецификации, предоставленной производителем, модуль DHT11 может обеспечивать показания влажности в диапазоне от 20% до 90%, а показания температуры в диапазоне от нуля до 50 ° C. Однако точность составляет $\pm 5\%$ и $\pm 2^\circ \text{C}$ как для влажности, так и для температуры соответственно. Набор эскизов Arduino был настроен с использованием программного обеспечения Arduino с открытым исходным кодом, интегрированной среды разработки (IDE).

На рисунках 5 – 6 представлены данные, полученные с платформы мониторинга на базе Arduino для каждой из соответствующих серий.

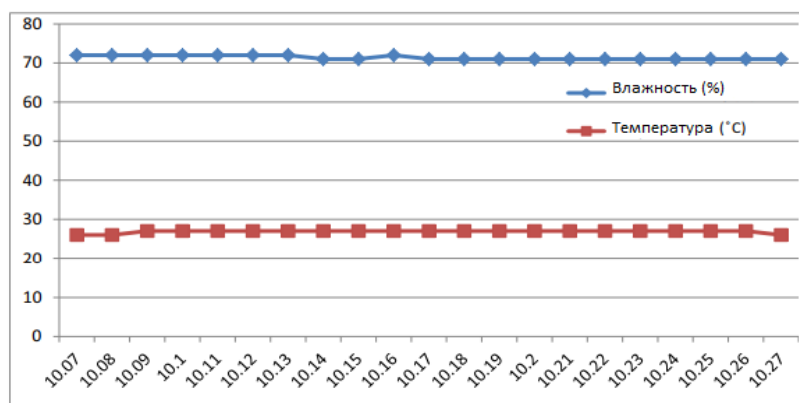


Рисунок 5 – График температуры и влажности, полученный с помощью модуля датчика DHT 11 для S1

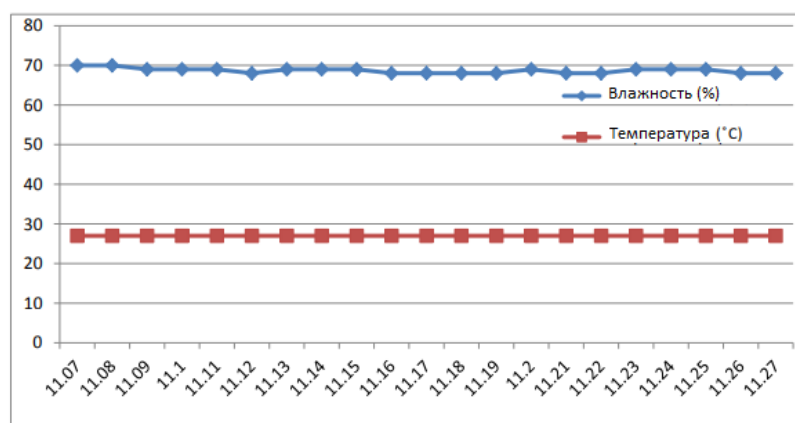


Рисунок 6 – График температуры и влажности, полученный с помощью модуля датчика DHT 11 для S2

Температурный микроклимат HD32.1 - это измерительный прибор, предназначенный для анализа микроклимата в умеренных, холодных и жарких средах. На рисунках 7 – 8 представлены данные, полученные с платформы мониторинга на базе HD32.1 для каждой из соответствующих серий.

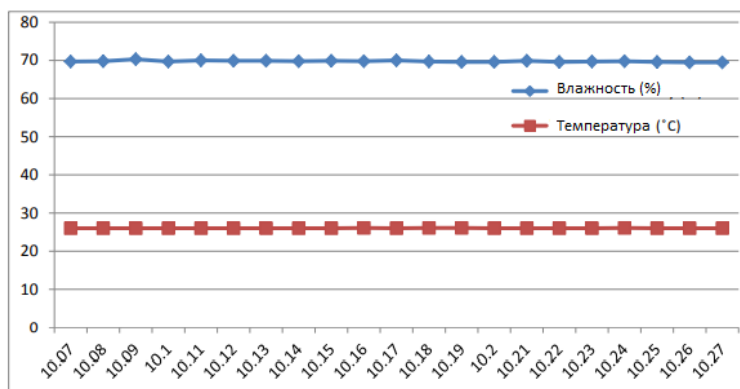


Рисунок 7 – График температуры и влажности, полученный с использованием теплового микроклимата для S1

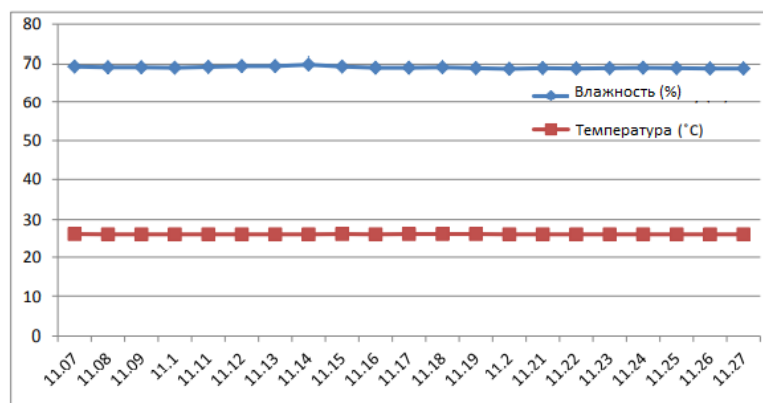


Рисунок 8 – График температуры и влажности, полученный с использованием теплового микроклимата для S2

Был проведен описательный анализ, в ходе которого была определена такая информация, как среднее значение, стандартное отклонение и асимметрия от среднего значения. Результаты анализа предназначены для сравнения показаний между платформами на базе Arduino и хорошо откалиброванным измерительным прибором. Наибольшее изменение температуры, зарегистрированное между двумя устройствами, составило 1,6 °C. Что касается стандартного отклонения, то самое низкое значение отклонения температуры было 0, в то время как максимальное значение было 0,51 от показания. Напротив, наименьшее значение для показания относительной влажности было 0,19 %, в то время как максимальное значение составляет 0,66 % от относительной влажности.

Конечная цель извлечения данных состояла в том, чтобы проверить стабильность данных между модулем датчика DHT11 и устройствами теплового микроклимата. Платформа на базе Arduino и хорошо откалиброванный измерительный прибор сравнивались умеренным статистическим способом. Общеизвестно, что точность всех измерительных устройств со временем ухудшается из-за нормального износа, несмотря на другие факторы, оба типа измерительных приборов подвержены экспериментальным ошибкам и неопределенностям [7].

3. Проектирование автоматизированной системы

Автоматизированная система представляет собой систему поддержания заданных параметров микроклимата производственного помещения (температуру, влажность, содержания твердых частиц в воздухе).

3.1 Описание технологического процесса

Функциональная схема технологического процесса показана на рисунке 9.

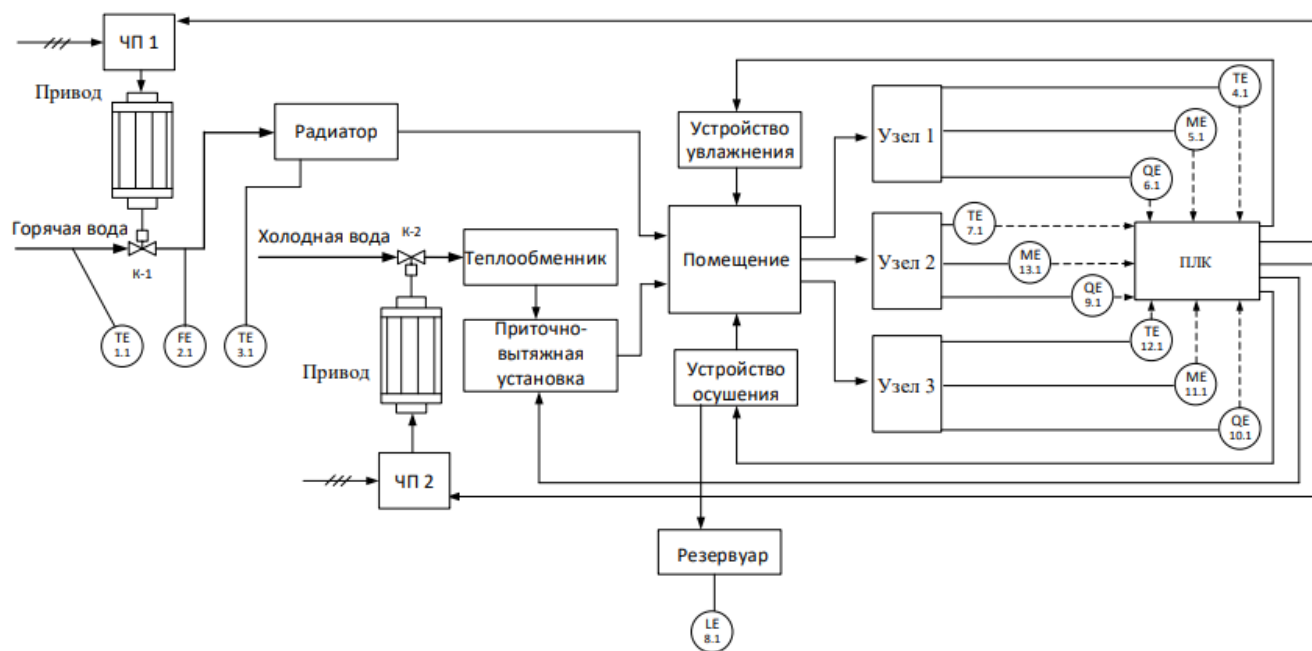


Рисунок 9 – Функциональная схема технологического процесса

В помещении располагаются три узла измерения параметров микроклимата. Данные с датчиков поступают на микроконтроллер для обработки. Из трех значений параметра рассчитывается среднее значение, для формирования управляющего сигнала. Сигналы управления направлены на частотные преобразователи для формирования частот вращения запорно-регулирующих клапанов для регулирования расхода горячей и холодной воды, с помощью которых поддерживается необходимая температура в помещении. Также сигналы управления запускают вентиляцию, устройство увлажнения или осушения. Излишки воды из воздуха после осушения поступают в резервуар. При повышении допустимого уровня воды система сигнализирует о необходимости освобождения емкости.

3.2 Разработка структурной схемы

Управление технологическим процессом сводится к поддержанию требуемых параметров микроклимата в помещении. Структурная схема управления представлена тремя уровнями передачи информации (рисунок 10).

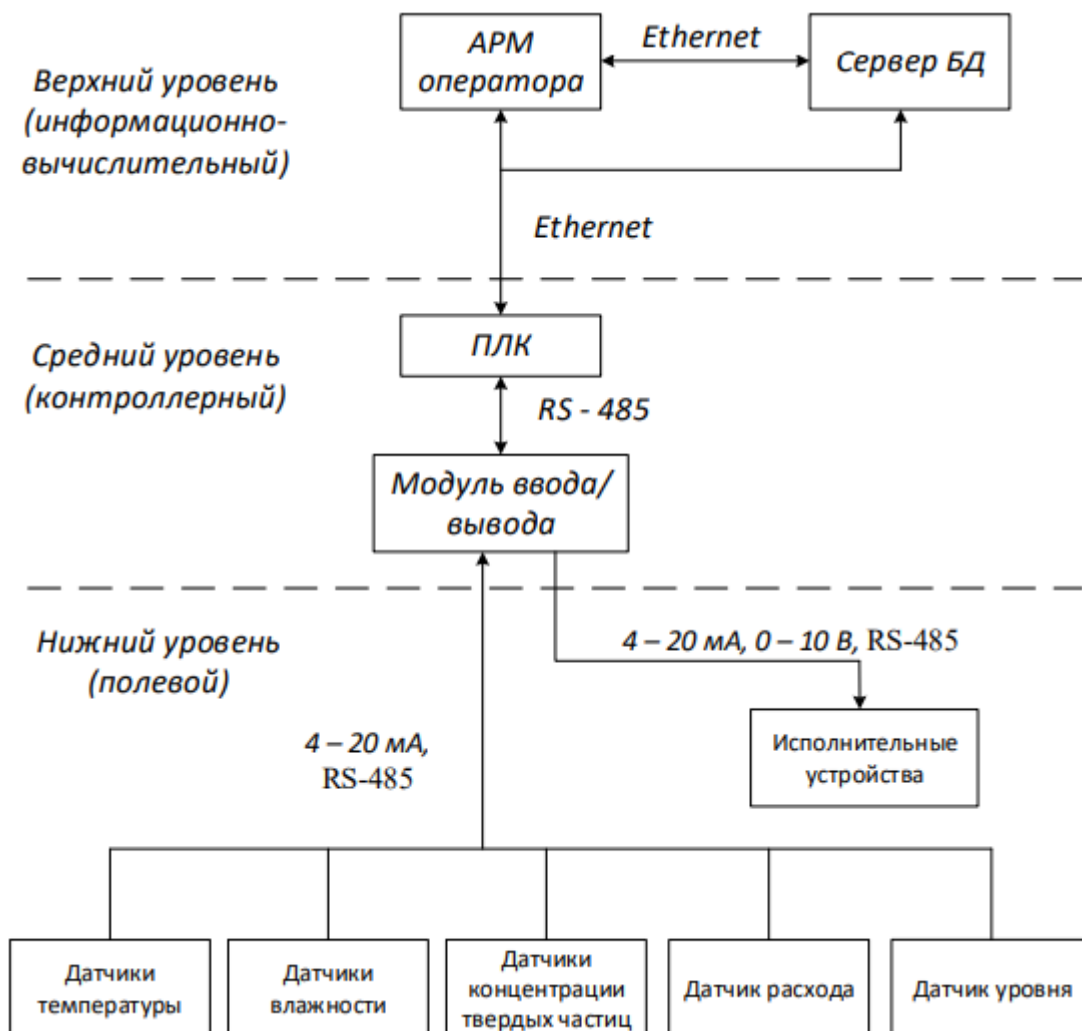


Рисунок 10 – Структурная схема процесса

Нижний уровень (полевой) состоит из первичных датчиков, осуществляющий сбор информации о параметрах технологического процесса, и исполнительных устройств, которые реализует регулирующее воздействие. Исполнительными устройствами являются устройства обогрева, вентиляция, осушители воздуха, увлажнители воздуха.

Средний уровень (контроллерный) состоит из программируемого логического контроллера (ПЛК), который осуществляет:

- исполнение команд верхнего уровня;

- обмен информацией с верхним уровнем;
- сбор и первичную обработку информации о параметрах технологического процесса;
- автоматическое регулирование.

Верхний уровень (информационно-вычислительный) состоит из компьютера, который соединен с ПЛК сетью Ethernet, в качестве передающей среды используется медная витая пара.

3.3 Разработка функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации (ФСА) показывает основные технические решения, принимаемые при проектировании систем автоматизации технологического процесса.

ФСА является техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений.

Разработаны функциональные схемы автоматизации согласно ГОСТ 21.208-2013, представленная в приложении А, и согласно стандарту американского общества приборостроителей ANSI/ISA-5.1-2009, представленная в приложении Б.

3.4 Выбор средств реализации АС

В качестве средств реализации системы необходимо выбрать контроллерное оборудование, датчики и исполнительные устройства для поддержания параметров микроклимата.

3.4.1 Выбор контроллерного оборудования

Произведем выбор контроллера из следующих видов: ОВЕН ПЛК 160, SIEMENS S7-300 CPU 314, DVP-SX2 (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение контроллеров

Критерии выбора	ОВЕН ПЛК 160	SIEMENS S7-300 CPU 314	DVP-SX2
Напряжение питания	220 В, 24 В	24 В	24 В
Дискретные входы	16 штук	16 штук	8 штук
Дискретные выходы	12 штук	16 штук	6 штук
Аналоговые входы	8 штук	–	4 штук
Аналоговые выходы	4 штук	–	2 штук
Интерфейсы	RS-232, RS-485, Ethernet, токовая петля	RS-485	RS-232, RS-485
Разрядность АЦП	14 бит	–	12 бит
Разрядность ЦАП	12 бит	–	12 бит
Диапазон температур	(минус 40 – 55) °С	(0 – 60) °С	(0 – 55) °С
Цена	33 480 руб.	147 532 руб.	20 017 руб.

Контроллер DVP-SX2 имеет недостаточное количество входов, в связи с этим необходимо использовать модули расширения входов. Также контроллер может работать только при положительной температуре, как и SIEMENS S7-300 CPU 314, к тому же контроллер фирмы SIEMENS имеет высокую стоимость и не содержит аналоговых входов и выходов. Таким образом, будем использовать контроллер ОВЕН ПЛК 160 (рисунок 11).



Рисунок 11 – Контроллер ОВЕН ПЛК 160

Программирование контроллера осуществляется в среде CODESYS с поддержкой пяти языков программирования. Фирма ОВЕН занимается разработкой контроллеров для малых и средних систем автоматизации, контрольно-измерительных приборов, программных средств. Продукция компании используется в различных отраслях промышленности.

Схема подключения внешних цепей контроллера приведена на рисунке 12 [8 – 10].

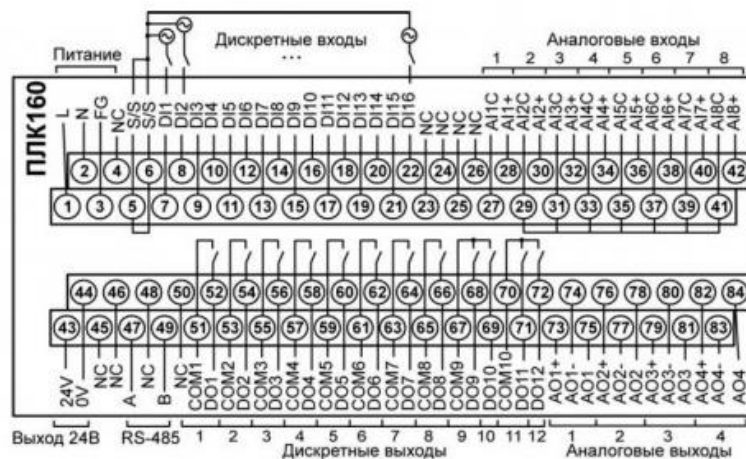


Рисунок 12 – Расположение контактов для подключения внешних цепей

3.4.2 Выбор датчиков

Для системы управления параметрами микроклимата необходимы датчики температуры, влажности воздуха и концентрации пыли в воздухе. Также, для мониторинга работы системы добавим датчики температуры воды в горячем трубопроводе и радиаторе и датчик уровня воды в устройстве осушения для сигнализации наполнения бака.

3.4.2.1 Выбор датчика температуры и влажности

Проведем сравнительный анализ следующих термогигрометров: ИВТМ-7/1-Щ, ИВТМ-7 Р-01-Т и СЕМ DT-625. Результаты сравнения сведены в таблице 3.

Для измерения температуры и влажности воздуха выберем термогигрометр ИВТМ-7/1-Щ (рисунок 13). Данный прибор имеет широкий диапазон измерений

температуры и влажности и питающего напряжения. К тому же, у него есть необходимые интерфейсы связи с компьютером и дисплей с элементами управления и индикации. Прибор выполняет обработку и регистрацию данных, а также может управлять исполнительными устройствами.

Таблица 3 – Обзор термогигрометров

Критерии выбора	ИВТМ-7/1-Щ	ИВТМ-7 Р-01-Т	СЕМ ДТ-625
Диапазон пределов измерений влажности	(0 – 99) %	(2 – 95) %	(0 – 100) %
Диапазон пределов измерений температуры	(минус 40 – 50) °С	(минус 20 – 50) °С	(минус 30 – 100) °С
Предел допустимой погрешности измерения влажности	± 2 %	–	± 2 %
Предел допустимой погрешности измерения температуры	± 0,2 %	± 0,2 %	± 0,5 %
Напряжение питания	220 В, (6 – 24) В	5 В (USB), 3 В	9 В
Потребляемая мощность	6 Вт	0,1 Вт	–
Интерфейс связи с компьютером	RS-232, RS-485	USB	Отсутствует
Наличие дисплея	Есть	Нет	Есть
Страна производитель	Россия	Россия	Китай
Средний срок службы	5 лет	5 лет	2 года
Стоимость	7 560 руб.	7 440 руб.	7 150 руб.



Рисунок 13 – Термогигрометр ИВТМ-7/1-Щ

В состав термогигрометров входят термозонды, резистивный или емкостной датчик влажности и измерительные преобразователи. Термозонды содержат чувствительный элемент (медный, платиновый). Воздействие температуры меняет сопротивление терморезистора в термозонде. Изменение влажности меняет сопротивление или емкость в гигрочувствительном элементе. Измерительный преобразователь преобразует напряжение с чувствительных элементов в токовый выходной сигнал [11 – 13].

3.4.2.2 Выбор датчика концентрации твердых веществ

Проведем сравнительный анализ следующих датчика концентрации твердых веществ в воздухе: PlantowerG3 PMS3003 Лазер, RK300-02RS485 и Plantower PMS9003M. Результаты сравнения сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Обзор термогигрометров

Критерии выбора	PlantowerG3 PMS3003 Лазер	RK300-02RS485	Plantower PMS9003M
Диапазон измерений	(0.3 – 10) микрон	От 1 микрон	(0.3 – 10) микрон
Диапазон рабочей температуры	(минус 10 – 50) °С	(минус 20 – 50) °С	(минус 10 – 60) °С
Диапазон рабочей влажности	(0 – 99) %	(15 – 80) %	(0 – 95) %
Предел допустимой погрешности измерения	–	± 3 %	± 10 %
Напряжение питания	5 В	(12 – 24) В	5 В
Интерфейс связи с компьютером	UART	4-20 мА, 0-5 В, 0-10 В, RS-485	UART
Наличие дисплея	Нет	Есть	Нет
Страна производитель	Китай	Китай	Китай
Стоимость	2 317 руб.	5 535 руб.	850 руб.

Для измерения содержания пыли в воздухе выберем датчик RK300-02RS485 (рисунок 14). Данный датчик имеет шире диапазон питающего напряжения, меньшую погрешность измерений и содержит дисплей вывода показаний. К тому же, может передавать сигнал на контроллер по токовой петле или уровню

напряжения, а также по интерфейсу RS-485. Такие преимущества выбранного датчика по сравнению с другими представленными сказывается на его цене.



Рисунок 14 – Датчик концентрации твердых веществ в воздухе RK300-02RS485

Принцип действия датчика основан на ослаблении интенсивности светового излучения при его прохождении через запыленную среду. Концентрация частиц пыли пропорциональна оптической плотности света [14 – 16].

3.4.2.3 Выбор датчика расхода

Для измерения расхода воды проведем сравнительный анализ следующих расходомеров: ЭМИС-ВИХРЬ 200, ЭМИС-ДИО 230, ЭМИС-МАГ 270. Результаты сравнения сведены в таблице 5.

Таблица 5 – Обзор расходомеров

Критерии выбора	ЭМИС-ВИХРЬ 200	ЭМИС-ДИО 230	ЭМИС-МАГ 270
Тип датчика	Вихревой	Роторный	Электромагнитный
Измеряемая среды	Жидкости с механическими примесями	Жидкости, вязкие жидкости	Электропроводные жидкости, агрессивные среды
Температура измеряемой среды	(минус 60 – 450) °С	(минус 20 – 250) °С	(минус 40 – 130) °С
Диапазон пределов измерений	(8 – 250) м ³ /ч	(8 – 280) м ³ /ч	(3 – 283) м ³ /ч
Предел допустимой погрешности	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Выходной сигнал	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU
Давление среды	(0 – 25) МПа	(0 – 6,3) МПа	(0 – 32) МПа

Для измерения расхода воды выбираем расходомер ЭМИС-МАГ 270 (рисунок 15). Расходомер имеет подходящий диапазон температур и пределы измерения. В отличие от других расходомеров, электромагнитный является бесконтактным, что облегчает его установку и увеличивает срок службы.



Рисунок 15 – Расходомер ЭМИС-МАГ 270

Прибор работает по закону электромагнитной индукции. При пересечении магнитного поля в жидкости индуцируется электродвижущая сила, пропорциональная скорости движения жидкости [17 – 19].

3.4.2.4 Выбор датчика температуры воды

Проведем сравнительный анализ следующих накладных датчиков температуры: VSN-3, RTD-04-PIPE и Eastec E-35. Результаты сравнения сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Обзор датчиков температуры

Критерии выбора	VSN-3	RTD-04-PIPE	Eastec E-35
Диапазон пределов измерений	(минус 30 – 110) °С	(минус 40 – 110) °С	(0 – 99) °С
Погрешность	–	± 0,5 °С	–
Диаметр трубы	(13 – 92) мм	До 48 мм	–
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Страна производитель	Россия	Россия	Южная Корея
Цена	2 336 руб.	473 руб.	2 350 руб.

Для измерения температуры радиатора и трубопровода горячей воды выберем датчик RTD-04-PIPE (рисунок 16).

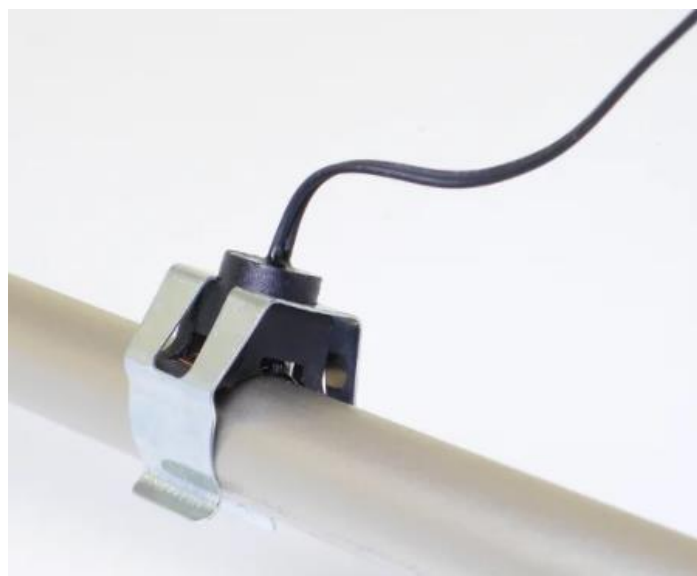


Рисунок 16 – Датчик температуры RTD-04-PIPE

Данный термопреобразователь Российского производства с низкой стоимостью предназначен для измерения температуры теплоносителя в трубе. Воздействие температуры меняет сопротивление терморезистора и, соответственно, силу тока от источника питания [20 – 22].

3.4.2.5 Выбор датчика уровня воды

В качестве датчика уровня воды в осушителе воздуха будет использоваться датчик уровня P35 прямой (рисунок 17).



Рисунок 17 – Поплавковый датчик уровня P35

Характеристики датчика уровня сведены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики поплавкового датчика уровня Р35

Характеристики	Датчик уровня Р35
Измеряемые среды	Нейтральные среды
Температура эксплуатации	(минус 30 – 80) °С
Напряжение коммутации	До 100 В
Рабочий ток	0,5 А
Сопротивление при замыкании	До 100 Ом
Выходной сигнал	(4 – 20) мА или реле
Цена	260 руб.

Внутри поплавкового датчика размещен круглый магнит. Шток представляет собой полую пластиковую трубку с расположенными внутри герконами. Поплавок с закрепленным магнитом всегда располагается на поверхности жидкости. Подходя к геркону, поле магнита вызывает срабатывание его контактов, что является сигналом о заполнении емкости до определенного объема.

При последовательном соединении контактных пар между собой через резисторы можно постоянно следить за уровнем воды по общему сопротивлению цепи. Стандартный сигнал при этом меняется от 4 до 20 мА.

Датчик уровня воды чаще всего размещается в верхней части резервуара [23].

3.4.3 Выбор исполнительных механизмов

Исполнительными устройствами для системы поддержания микроклимата будут являться радиатор и теплообменник, регулирующие клапана с частотными преобразователями, устройства увлажнения и осушения с преобразователями напряжения для управления вентиляторами, приточно-вытяжная установка.

3.4.3.1 Выбор радиатора

Для обогрева помещения будут использоваться радиаторы с водой в роли теплоносителем. Радиаторы состоят из секций с внутренними каналами, внутри которых циркулирует теплоноситель.

Сравним радиаторы различных производителей (таблица 8).

Таблица 8 – Сравнение радиаторов

Критерий выбора	Rifar Alp 500 x 10	Royal Thermo BiLiner 500 x 10	КЗТО РС 1-1000 412
Теплоотдача радиатора	1610 Вт	1710 Вт	650 Вт
Отапливаемая площадь	19,9 м ²	19,9 м ²	6,5 м ²
Объем	2 л	2,05 л	3,8 л
Габаритные размеры (В*Ш*Г)	0,57*0,81*0,075 м	0,574*0,80*0,08 м	1,04*0,412*0,04 м
Максимальная рабочая температура	135 °С	110 °С	130 °С
Максимальное рабочее давление	20 бар	30 бар	15 бар
Цена	7 100 руб.	8 800 руб.	10 867 руб.

Из представленных радиаторов выберем RifarAlp500x10 (рисунок 18).



Рисунок 18 – Радиатор Rifar Alp 500 x 10

Данный радиатор обладает высокой теплоотдачей при низкой цене и низким расходом воды. Радиатор содержит 10 секций. Подключение осуществляется диаметром полдюйма [24 – 26].

3.4.3.2 Выбор вентиляции

Приточно-вытяжная установка STAR — это компактное рекуперативное устройство предназначено для подачи, очистки и удаления отработанного воздуха в помещения небольших объемов. Нагрев и увлажнение воздуха осуществляется без дополнительных затрат электроэнергии. Происходит это за счет пластинчатого рекуператора мембранного типа, который извлекая тепло и влагу из утилизированного воздуха, передает их поступающему воздуху с улицы. Монтаж установки можно осуществлять непосредственно в обслуживаемом помещении и подвесным потолком.

Стандартно установки комплектуются приточным и вытяжным вентиляторами, приточным и вытяжным фильтрами, пластинчатым рекуператором и системой автоматического управления с пультом дистанционного управления. Инновационный тип рекуператора позволяет подогревать и увлажнять приточный воздух, при этом специальная мембрана рекуператора переносит из вытяжного воздуха только молекулы воды, оставляя в нем все загрязнения.

Технические характеристики установки вентиляции показаны в таблице 9 [27].

Таблица 9 – Технические данные Electrolux EPVS-200

Характеристики	Значения
Максимальный расход воздуха	205 м ³ /час
Потребляемая мощность	75 Вт
Напряжение питания	220 В
КПД рекуператора	85 %
Регулировка вентиляторов	(85 - 220) В, 50 Гц
Габаритные размеры (В*Ш*Г)	0,245*0,42*0,59 м
Страна производитель	КНР
Гарантийный срок	24 месяца
Цена	38 700 руб.

Изображение приточно-вытяжной вентиляции приведено на рисунке 19 [27].



Рисунок 19 – Установка приточно-вытяжная Electrolux EPVS-200

Установка предназначена для монтажа непосредственно к круглым воздуховодам.

Регулирование скорости вентиляторов будет проводиться цифровым фазовым регулятором напряжения (рисунок 20).



Рисунок 20 – Фазовый регулятор напряжения цифровой

Характеристики регулятора напряжения приведены в таблице 10 [28].

Таблица 10 – Технические данные фазового регулятора напряжения

Характеристики	Значения
Рабочее напряжение	220 В
Максимальная мощность	4 кВт
Напряжение регулирования	(0 – 220) В
Подключение питания	Выходы 1 и 2
Подключение регулируемого устройства	Выходы 3 и 4
Цена	680 руб.

3.4.3.3 Выбор теплообменника

Теплообменники предназначены для нагрева или охлаждения воздуха в канальных системах вентиляции. Нагреватель устанавливается непосредственно в канал. В качестве теплоносителя могут использоваться как вода, так и незамерзающие смеси. Проведем выбор теплообменника среди: WHR-W 400*200-3, WNC 400*400-2, WNC 150*150-2. Сравнение представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Сравнение теплообменников

Критерий выбора	WHR-W 400*200-3	WNC 400*400-2	WNC 150*150-2
Расход воды	0,6 м ³ /час	1,19 м ³ /час	0,14 м ³ /час
Максимальный расход воздуха	–	1600 м ³ /час	250 м ³ /час
Минимальный расход воздуха	–	800 м ³ /час	150 м ³ /час
Габаритные размеры (В*Ш*Г)	0,29*0,635*0,316 м	0,44*0,62*0,15 м	0,19*0,37*0,15 м
Страна производитель	Россия	Россия	Россия
Гарантия	12 месяцев	12 месяцев	12 месяцев
Цена	20 950 руб.	10 500 руб.	6 200 руб.

Выбираем теплообменник WNC 150*150-2 (рисунок 21). Его расход воздуха соответствует расходу воздуха приточно-вытяжной вентиляции, при этом у него меньше расход воды и значительно ниже цена.



Рисунок 21 – Теплообменник WNC 150*150-2

Теплообменник может быть установлен как в прямоугольный канал, так и в круглый при установке дополнительных переходников. Корпус изготавливается из оцинкованного стального листа. Поверхность теплообменника изготавливается из медных труб, механически расширенных на ребра в виде пластин. Пластины имеют волнистую форму, что позволяет увеличить поверхность теплообмена, а так же позволяет легко стекать конденсату без засорения теплообменника. Мощность при максимальной рабочей температуре 150°С равна 4 кВт, максимальное давление 16 бар [29 – 31].

3.4.3.4 Выбор увлажнителя воздуха

Для увлажнения воздуха в помещение выберем промышленный увлажнитель из следующих: Par-Tuman ГТ-1,6, Сохра Ф3, Par-Tuman ГТ-5,0 (таблица 12).

Таблица 12 – Сравнение увлажнителей воздуха

Критерий выбора	Par-Tuman ГТ-1,6	Сохра Ф3	Par-Tuman ГТ-5,0
Производительность	1,6 кг/ч	0,9 кг/ч	5 кг/ч
Площадь увлажнения	(150 – 200) м ²	–	(200 – 300) м ²
Диаметр парового патрубка	110 мм	125 мм	110 мм
Подключение к водопроводу	Есть	Нет	Нет
Напряжение питания	220 В	220 В	220 В
Потребляемая мощность	150 Вт	150 Вт	300 Вт
Габаритные размеры (В*Ш*Г)	0,50*0,30*0,15 м	0,26*0,238*0,16 м	0,31*0,40*0,34 м
Производитель	Россия	Россия	Россия
Цена	24 000 руб.	36 179 руб.	42 000 руб.

Из представленных увлажнителей выберем Par-Tuman ГТ-1,6 (рисунок 22).



Рисунок 22 – Увлажнитель воздуха Par-Tuman ГТ-1,6

Данный увлажнитель является ультразвуковым и имеет низкое энергопотребление, низкую цену. Главным преимуществом является возможность подключения к водопроводу, что позволит осуществлять бесперебойную работу аппарата. Бак для воды в данной модели отсутствует.

Так же увлажнитель имеет в своем составе блок автоматики, позволяющий эксплуатировать увлажнитель в автоматическом режиме с учетом влажности.

Повышение влажности воздуха происходит за счет распыления мельчайших частичек воды при помощи ультразвуковой пластины. Из-за этого получается особо мелкий водяной туман, без нагрева окружающего воздуха.

Управляет потоком водяного тумана встроенный вентилятор YCCFAN (рисунок 23).



Рисунок 23 – Вентилятор в увлажнителе воздуха Par-Tuman ГТ-1,6

Питание вентилятора осуществляется напряжением 32 В и током 0,12 А [32 – 34].

3.4.3.5 Выбор осушителя воздуха

Для осушения воздуха в помещение выберем промышленный осушитель того же производителя, что и увлажнителя, а именно Par-Tuman PT-60 (рисунок 24).



Рисунок 24 – Осушитель воздуха Par-Tuman PT-60

Характеристики осушителя приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристики осушителя воздуха

Характеристики	Par-Tuman PT-60
Производительность	480 м ³ /ч
Осушение	60 л/сутки
Емкость бака	5,5 л
Напряжение питания	220 В
Потребляемая мощность	780 Вт
Габаритные размеры (В*Ш*Г)	0,94*0,55*0,52 м
Производитель	Россия
Цена	65 000 руб.

Промышленный осушитель PT-60 Par-Tuman (Пар-Туман) предназначен для снижения уровня влажности и, кроме того, для частичной очистки воздуха от пыли. Модель мобильного пола рекомендуется для использования в производственных помещениях, бассейнах, складах [35].

Регулировка скорости вентиляторов увлажнителя и охладителей будет производиться с помощью диммера SR-2006-S (рисунок 25).

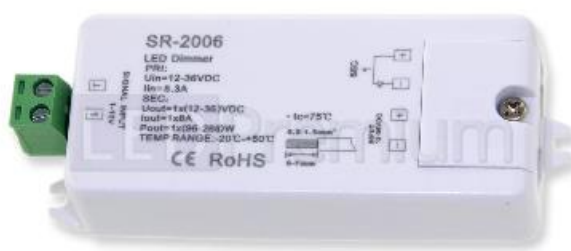


Рисунок 25 – Диммера SR-2006-S

Характеристики диммера приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики диммера SR-2006-S

Характеристики	Значения
Входное напряжение	12/24/36 В
Выходное напряжение	12/24/36 В
Мощность	96/192/288 Вт
Сигнал управления	(0 – 10) В
Ток нагрузки	8 А
Габаритные размеры (Д*Ш*В)	0,082*0,033*0,020 м
Цена	1 799 руб.

Для питания вентиляторов необходим диммер с входным/выходным напряжением 36 В [36].

3.4.3.6 Выбор регулирующего клапана

Клапан запорно-регулирующий КЗР 25ч945п фланцевый (рисунок 26) в комплекте с электроприводом Regada применяется на центральных и индивидуальных тепловых пунктах, в системах горячего водоснабжения, вентиляции, в областях народного хозяйства. Клапан является запорным устройством, а также предназначен для автоматического регулирования техпроцессов.

Характеристики клапанов:

- рабочая среда: жидкие и газообразные среды;
- температура рабочей среды: от минус 15 °С до плюс 150 °С;
- производство: Россия;
- рабочий ход плунжера: 50 мм.

Принцип действия КЗР. Регулируется поток рабочей среды путем перемещения плунжера относительно седла, изменяя тем самым пропускную способность клапана по сигналу, поступающему на электропривод, который изменяет площадь открытого проходного отверстия седла. Благодаря прокладкам и сальниковому уплотнению осуществляется полная герметичность клапана.



Рисунок 26 – КЗР 25ч945п

Для выходного трубопровода системы отопления с диаметром 20 мм выбираем клапан КЗР 25ч945п Ду15 Ру16. Габаритные и присоединительные размеры показаны на рисунке 27.

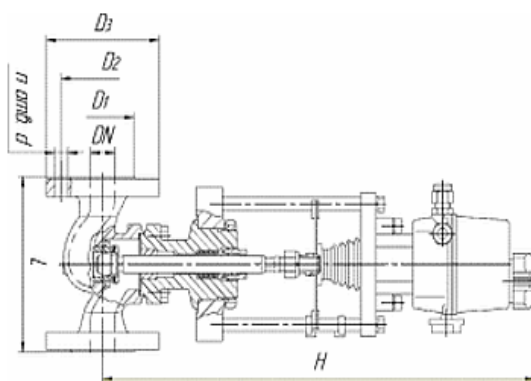


Рисунок 27 – Габаритный чертеж КЗР 25ч945п Ду15 Ру16: $D_1=46$ мм, $D_2=65$ мм, $D_3=95$ мм, $L=130$ мм, $n=4$ мм, $d=14$ мм, $H=350$ мм

Клапаны КЗР 25ч945п комплектуются электроприводом – «Regada» различных типов исполнения: в общепромышленном, взрывозащищенном, умеренном климатическом. Стандартное исполнение электропривода Regada:

- электрическое подсоединение – на клеммную колодку;
- механическое присоединение – фланцевое, присоединительная муфта резьбовая;
- указатель положения;
- ручной дублер управления.

Технические характеристики электроприводов показаны в таблице 15.

Таблица 15 – Технические данные электропривода

Характеристики	Значения
Рабочий ход	10 мм
Скорость управления	30 мм/мин
Время закрытия	20 с
Усилие на штоке	1,1 кН
Напряжение питания	230В, 50Гц
Мощность потребляемая	2,75 Вт
Масса	1,9 кг

Клапан питается от сети переменного тока, при этом потребляет мало мощности [37].

3.4.3.7 Выбор частотного преобразователя

Для регулирования частоты вращения электропривода клапана выберем частотный преобразователь из следующих: HYUNDAI N700E 004SF, ESQ-210-2S-0.4K, ESQ-A500-021-0.4K (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнение частотных преобразователей

Критерий выбора	HYUNDAI N700E 004SF	ESQ-210-2S-0.4K	ESQ-A500-021-0.4K
Мощность	400 Вт	400 Вт	400 Вт
Напряжение питания	220 В	220 В	220 В
Дискретные входы	6 шт	4 шт	4 шт
Интерфейс связи	RS-485	RS-485	RS-485
Цена	12 546 руб.	6 644 руб.	8 815 руб.

Из представленных частотных преобразователей выберем ESQ-210-2S-0.4K (рисунок 28).



Рисунок 28 – Частотный преобразователь ESQ-210-2S-0.4K

Данный частотный преобразователь имеет необходимый интерфейс связи, достаточную мощность питания электропривода и стоит дешевле представленных [38].

3.5 Схема производственного помещения

Производственное помещение длиной 25 м, шириной 12 м и высотой 4 м содержит устройство осушения, два устройства увлажнения, две приточно-вытяжных вентиляции с теплообменниками и пятнадцать радиаторов отопления. Также в состав системы входят три узла измерения параметров микроклимата.

Схема расположения устройств приведена на рисунке 29.

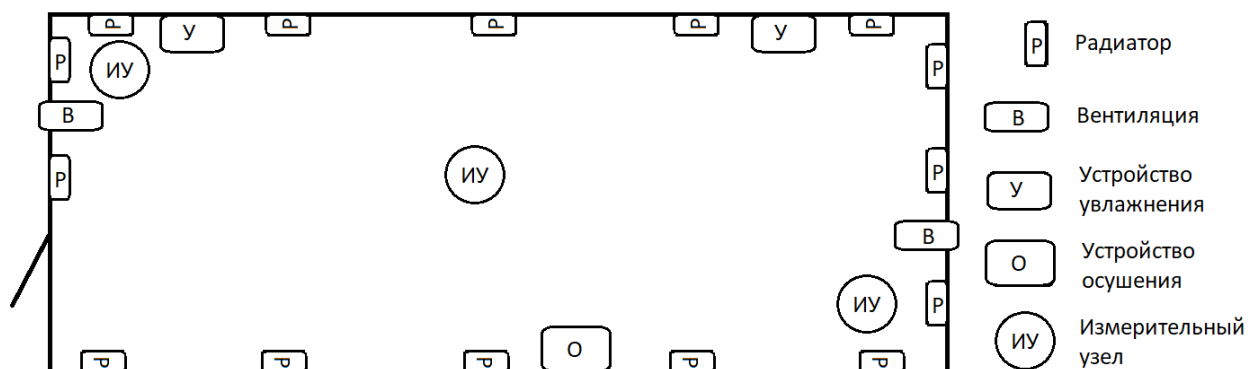


Рисунок 29 – Схема размещения устройств в помещении

Измерительные узлы расположены на разных уровнях: на верхнем (3,5 м), на среднем (2 м) и на нижнем уровне (0,5 м) для более детального представления об параметрах микроклимата.

3.6 Разработка схемы внешних проводок

В процессе выполнения работы, разработали схему внешних проводок, приведенная в приложении В. На схеме показаны проводки следующих датчиков: температуры, влажности, концентрации твердых веществ в воздухе, расхода воды и уровня воды в резервуаре. Для передачи сигналов был выбран кабель КВВГЭнг (рисунок 30). Это защищенный экраном кабель в поливинилхлоридной оболочке. Жилы кабеля изготавливаются из меди или алюминия.



Рисунок 30 – Кабель КВВГЭнг

Расшифровка аббревиатуры кабеля КВВГЭнг:

- К означает, что кабель контрольный;
- В (первая) говорит, что проводники изготовлены из ПВХ-пластика;
- В (вторая) говорит, что скрутка жил помещена в ПВХ-оболочку;
- Г означает, что кабель не имеет внешнего защитного слоя;
- Э говорит о наличии защитного экрана.

Кабель КВВГЭнг предназначен для прокладки в помещениях и на открытом воздухе при отсутствии опасности механических повреждений при эксплуатации и защиты электрических цепей от влияния внешних электрических полей. Технические характеристики кабеля показаны в таблице 17 [39].

Таблица 17 – Технические характеристики КВВГЭнг

Наименование	КВВГЭнг
Диапазон рабочих температур	(минус 50 – 50) °С
Минимальная температура монтажа	минус 15 °С
Максимальная температура жилы	70 °С
Срок службы:	
– в грунте	15 лет
– в помещении	30 лет

Для соединения проводов с датчиком в кабель используем клеммную колодку КК42С фирмы ОВЕН.

3.7 Разработка алгоритмов управления

В автоматизированных системах используются различные алгоритмы, такие как:

- алгоритмы запуск / останов технологического процесса;
- П, ПИ, ПД, ПИД-алгоритм, для автоматического управления технологическим процессом;
- алгоритмы централизованного управления.

3.7.1 Разработка алгоритма пуска

Данный алгоритм запускает систему поддержания микроклимата в производственном помещении. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Проверка команды от оператора, если нет, то ничего не происходит.
2. Проверяется уровень воды в резервуаре устройства осушения, если он не в норме, то выдается сообщение о заполнении воды в резервуаре.
3. Проверяются показания с датчиков, если данные параметра с одного датчика значительно отличаются от двух других, то выдается сообщение о нарушении работы датчика.
4. Выдается команда на запуск преобразователя частоты для привода клапана системы отопления.

5. Выдается команда на запуск преобразователя частоты для привода клапана системы охлаждения.

6. Выдается команда на запуск приточно-вытяжной установки.

7. Выдается команда на запуск устройства увлажнения.

8. Выдается команда на запуск устройства осушения.

Блок-схема данного алгоритма показана в приложении Г.

3.7.2 Разработка алгоритма останова

Данный алгоритм останавливает систему поддержания микроклимата в производственном помещении. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Проверка команды от оператора, если нет, то ничего не происходит.

2. Выдается команда на преобразователь частоты для остановки привода клапана системы отопления.

3. Выдается команда на преобразователь частоты для остановки привода клапана системы охлаждения.

4. Выдается команда на останов приточно-вытяжной установки.

5. Выдается команда на останов устройства увлажнения.

6. Выдается команда на останов устройства осушения.

Блок-схема данного алгоритма показана в приложении Г.

3.7.3 Разработка алгоритма автоматического регулирования

Объектом управления является помещение. В качестве регулируемой величины выступают параметры микроклимата (температура, влажность, содержание пыли в воздухе). В качестве алгоритма регулирования используется ПИД-, ПИ-, ПД-законы. Оператор задает температуру, влажность, содержание пыли, которые необходимо поддерживать в помещении. Эти значения подаются в ПЛК, где происходит сравнение их со значением текущих температуры, влажности, содержания пыли, полученных с датчика. Затем происходит формирование выходных сигналов. Эти сигналы подаются на исполнительные устройства.

3.7.3.1 Математическая модель системы

Схема автоматического регулирования приведена на рисунке 31.

Схема состоит из: задающих устройств (уставок), ПЛК (реализующий функции ПИД-регулятора), преобразователей частоты, моторов редукторов, штоков, клапанов, радиатора, теплообменника, приточно-вытяжной вентиляции, устройства увлажнения, устройства осушения, регуляторов напряжения, объекта управления (производственного помещения), датчиков пыли, температуры и влажности (являются обратными связью).

Оператор задает температуру, влажность и концентрацию твердых частиц в воздухе, которые необходимо поддерживать в помещении. Введенное значение температуры подается в ПЛК, где происходит сравнение её со значением текущей температуры, полученной с датчиков. Затем происходит формирование выходного сигнала. Этот сигнал подается на частотные преобразователи для задания необходимой скорости мотора редуктора клапанов горячего и холодного водоснабжения. Также введенные значения влажности и концентрации пыли поступают в контроллер для формирования сигнала на регулятор напряжения питания вентиляторов устройств вентиляции, увлажнения и осушения.

Рассмотрим передаточные функции звеньев, входящих в данную модель.

Преобразователи частоты формируют частоты для моторов редукторов, поэтому их передаточные функции будут определяться коэффициентами преобразования. Поскольку частотный преобразователь передает значение частоты по цифровому каналу, его передаточная функция будет:

$$W_{пч1} = W_{пч2} = \frac{f_{вых}}{f_{вх}} = \frac{50 \text{ Гц}}{50 \text{ Гц}} = 1, \quad (1)$$

где $W_{пч1}$ и $W_{пч2}$ – передаточные функции преобразователей частоты;

$f_{вых}$ – выходная частота преобразователя частоты, Гц;

$f_{вх}$ – входная частота преобразователя частоты, Гц.

Передаточные функции моторов редукторов опишем аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{мп1} = W_{мп2} = \frac{k_{мп}}{T_{мп} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

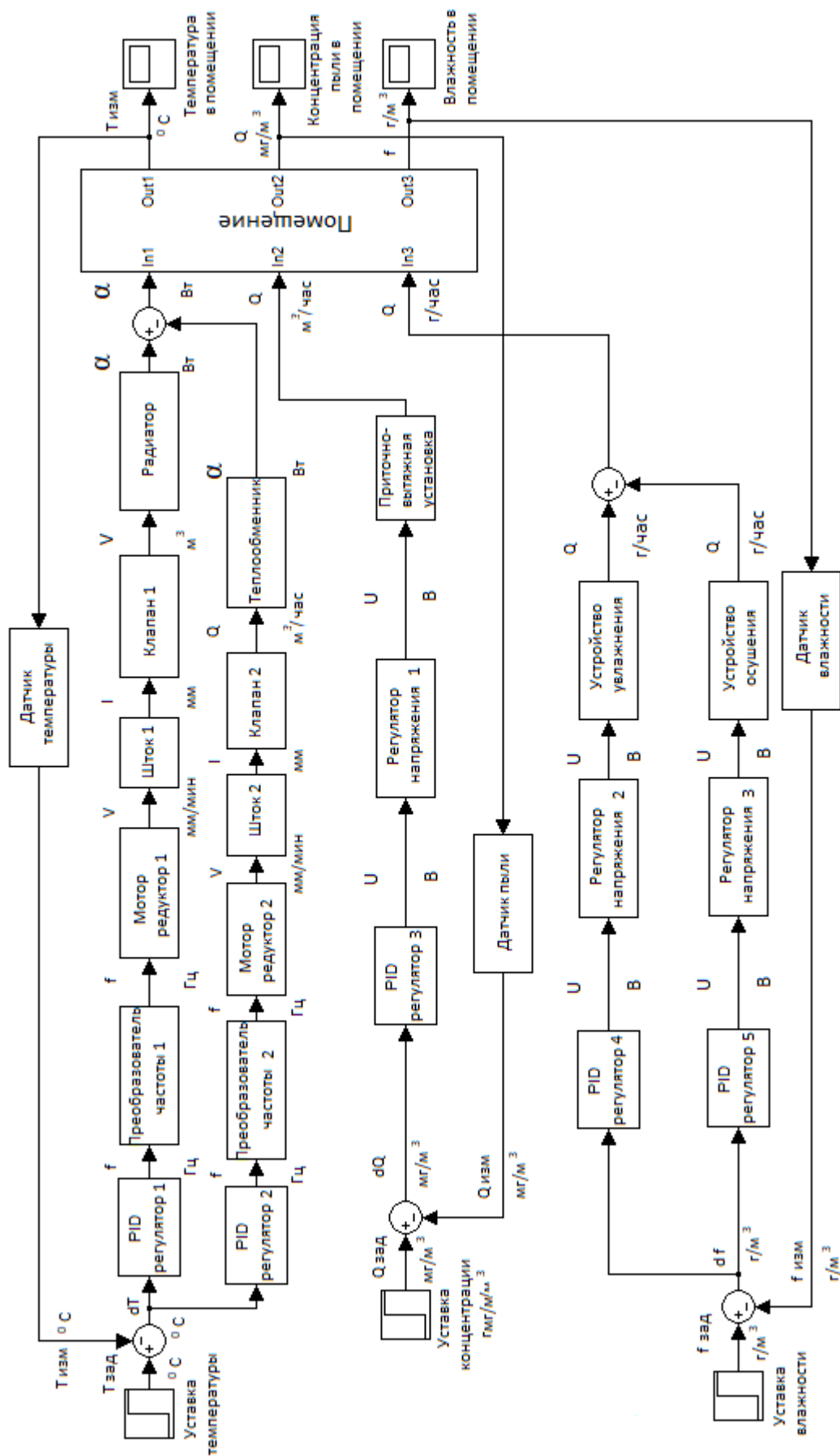


Рисунок 31 – Схема автоматического регулирования

где $W_{\text{мр1}}$ и $W_{\text{мр2}}$ – передаточная функция мотор редуктора;
 $k_{\text{мр}}$ – коэффициент передачи мотор редуктора, об/сек·Гц;
 $T_{\text{мр}}$ – постоянная времени мотор редуктора, с;
 s – оператор передаточной функции.

Необходимые характеристики моторов редукторов приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики моторов редукторов

Характеристика	Значение
Рабочий ход, l	10 мм
Скорость управления, $v_{\text{дв}}$	30 мм/мин
Время закрытия, $t_{\text{дв}}$	20 с

Коэффициент передачи моторов редукторов определяется как отношение угловой скорости $v_{\text{дв}}$ к частоте преобразователя f :

$$k_{\text{дв}} = \frac{v_{\text{дв}}}{f} = \frac{30}{50} = 0,6 \text{ мм}/(\text{мин} \cdot \text{Гц}). \quad (3)$$

Электромеханическая постоянная времени асинхронных исполнительных двигателей для питания от 50 Гц соответствует (0,2 – 1) с [40].

Примем постоянную времени мотор редуктора $T_{\text{мр}}$ равной 0,5 с. Получим передаточную функцию мотор редуктора:

$$W_{\text{мр1}} = W_{\text{мр2}} = \frac{0,6}{0,5 \cdot s + 1}. \quad (4)$$

Шток представляет собой интегрирующее звено:

$$W_{\text{шт1}} = W_{\text{шт2}} = \frac{1}{T_{\text{шт}} \cdot s}, \quad (5)$$

где $W_{\text{шт1}}$ и $W_{\text{шт2}}$ – передаточные функции штоков;

$T_{\text{шт}}$ – постоянная времени штока, с.

Постоянная времени штока определяется из значения времени полного хода штока и равна 20 с. Получим передаточную функцию штока:

$$W_{\text{шт1}} = W_{\text{шт2}} = \frac{1}{20 \cdot s}. \quad (6)$$

Клапан 1 опишем аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{кл1}} = \frac{k_{\text{кл1}}}{T_{\text{кл1}} \cdot s + 1}, \quad (7)$$

где $W_{\text{кл}1}$ – передаточная функция клапана 1;

$k_{\text{кл}1}$ – коэффициент передачи клапана 1, л/мм;

$T_{\text{кл}1}$ – постоянная времени клапана 1, с.

Коэффициент передачи клапана 1 определяется как отношение максимального объема воды в радиаторе V_{max} к ходу штока l :

$$k_{\text{кл}1} = \frac{V_{\text{max}}}{l} = \frac{2}{10} = 0,2 \frac{\text{л}}{\text{мм}}. \quad (8)$$

Постоянную времени клапана 1 рассчитаем как отношение объема заполнения радиатора V_{max} к расходу воды в трубе $Q_{\text{в}}$ (для диаметра 0,5 дюйма и скорости воды в трубе 1 м/с $Q_{\text{в}} = 0,127$ л/с):

$$T_{\text{кл}1} = \frac{V_{\text{max}}}{Q_{\text{в}}} = \frac{2}{0,127} = 15,7 \text{ с}. \quad (9)$$

Тогда передаточная функция клапана 1:

$$W_{\text{кл}1} = \frac{0,2}{15,7 \cdot s + 1}. \quad (10)$$

Радиатор представляет собой апериодическое звено:

$$W_{\text{р}} = \frac{k_{\text{р}}}{T_{\text{р}} \cdot s + 1}, \quad (11)$$

где $W_{\text{р}}$ – передаточная функция радиатора;

$k_{\text{р}}$ – коэффициент передачи радиатора, л/мм;

$T_{\text{р}}$ – постоянная времени радиатора, с.

Коэффициент передачи радиатора определяется как отношение теплоотдачи радиатора α к объему теплоносителя V_{max} :

$$k_{\text{р}} = \frac{\alpha}{V_{\text{max}}} = \frac{1610}{2} = 805 \text{ Вт/л}. \quad (12)$$

Время нагрева радиатора примем 900 с. Тогда передаточная функция радиатора:

$$W_{\text{р}} = \frac{805}{900 \cdot s + 1}. \quad (13)$$

Поскольку для помещения необходимо 15 радиаторов, соединенных параллельно, то обобщенная функция радиатора $W_{\text{р}0}$ будет:

$$W_{\text{р}0} = \frac{12\,075}{900 \cdot s + 1}. \quad (14)$$

Клапан 2 опишем аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{кл}2} = \frac{k_{\text{кл}2}}{T_{\text{кл}2} \cdot s + 1}, \quad (15)$$

где $W_{\text{кл}2}$ – передаточная функция клапана 2;

$k_{\text{кл}2}$ – коэффициент передачи клапана 2, м³/(час · мм);

$T_{\text{кл}2}$ – постоянная времени клапана 2, с.

Коэффициент передачи клапана 2 определяется как отношение максимального расхода воды Q_{max} теплообменника к ходу штока l :

$$k_{\text{кл}2} = \frac{Q_{\text{max}}}{l} = \frac{0,14}{10} = 0,014 \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{мм}). \quad (16)$$

Постоянная времени клапана 2 с учетом объема теплообменника V_T равна:

$$T_{\text{кл}2} = \frac{V_T}{Q_{\text{max}}} = \frac{0,7}{0,14} = 5 \text{ с}. \quad (17)$$

Тогда передаточная функция клапана 2:

$$W_{\text{кл}2} = \frac{0,014}{5 \cdot s + 1}. \quad (18)$$

Теплообменник представляет собой аperiodическое звено:

$$W_T = \frac{k_T}{T_T \cdot s + 1}, \quad (19)$$

где W_T – передаточная функция теплообменника;

k_T – коэффициент передачи теплообменника, Вт · час/м³;

T_T – постоянная времени теплообменника, с.

Коэффициент передачи теплообменника определяется как отношение теплоотдачи теплообменника α_x к расходу воды Q_{max} :

$$k_T = \frac{\alpha_x}{Q_{\text{max}}}. \quad (20)$$

Рассчитаем теплоотдачу теплообменника из формулы:

$$Q_B = \frac{1000 \cdot \alpha_x}{(T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}})}. \quad (21)$$

где Q_B – расход воды, м³/час;

α_x – теплоотдача теплообменника, Гкал/час;

$T_{\text{вх}}$ – температура воды на входе теплообменника, °С;

$T_{\text{вых}}$ – температура воды на выходе теплообменника, °С [41].

За счет использования вентиляции увеличится теплоотдача с теплообменника. Для разрабатываемой системы будем использовать две приточно-вытяжных установок с теплообменником на каждом.

Тогда теплоотдача равна:

$$\alpha_x = \frac{Q_B \cdot (T_{ВХ} - T_{ВЫХ})}{1000} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot (7 - 19) \cdot 10^6}{1000} = -3360 \frac{\text{ккал}}{\text{час}} = -3908 \text{ Вт}. \quad (22)$$

Коэффициент передачи теплообменника равен:

$$k_T = \frac{\alpha_x}{Q_{max}} = \frac{-3908}{0,14} = -27\,914 \text{ Вт} \cdot \text{час} / \text{м}^3. \quad (23)$$

Время охлаждения теплообменника примем 200 с. Тогда передаточная функция теплообменника:

$$W_T = \frac{-27\,914}{200 \cdot s + 1}. \quad (24)$$

Датчики температуры передают значение на контроллер по цифровому каналу. Передаточная функция датчика температуры будет выглядеть как отношение измеренной температуры $T_{изм}$ к передаваемой с датчика T_d :

$$W_{дт} = \frac{T_{изм}}{T_d} = \frac{90 \text{ }^\circ\text{C}}{90 \text{ }^\circ\text{C}} = 1, \quad (25)$$

где $W_{дт}$ – передаточная функция датчика температуры.

Датчики влажности передают значение на контроллер по цифровому каналу. Передаточная функция датчика влажности будет выглядеть:

$$W_{дв} = \frac{f_{изм}}{f_d} = \frac{100 \%}{100 \%} = 1, \quad (26)$$

где $W_{дв}$ – передаточная функция датчика влажности;

$f_{изм}$ – значение измеренной влажности;

f_d – значение влажности с датчика.

Датчики пыли передают значение на контроллер по цифровому каналу. Передаточная функция датчика пыли будет выглядеть:

$$W_{дп} = \frac{Q_{изм}}{Q_d} = \frac{1 \text{ г} / \text{м}^3}{1 \text{ г} / \text{м}^3} = 1, \quad (27)$$

где $W_{дп}$ – передаточная функция датчика пыли;

$Q_{изм}$ – значение измеренной концентрации пыли;

Q_d – значение концентрации пыли с датчика.

Регулятор напряжения 1 представим усилительным звеном:

$$W_{pн1} = k_{pн1}, \quad (28)$$

где $W_{pн1}$ – передаточная функция регулятора напряжения 1;

$k_{pн1}$ – коэффициент передачи регулятора напряжения 1, В/В.

Коэффициент передачи регулятора напряжения 1 определяется как отношение выходного напряжения с регулятора $U_{вых1}$ к сигналу с контроллера $U_{к1}$:

$$W_{pн1} = \frac{U_{вых1}}{U_{к1}} = \frac{220}{220} = 1. \quad (29)$$

Приточно-вытяжную установку представим апериодическим звеном:

$$W_B = \frac{k_B}{T_B \cdot s + 1}, \quad (30)$$

где W_B – передаточная функция вентиляции;

k_B – коэффициент передачи вентиляции, м³/час · В;

T_B – постоянная времени вентиляции, с.

Вентиляция используется для очищения воздуха от пыли и охлаждения воздуха в помещении. Охлаждение происходит за счет усиления потока воздуха через теплообменник.

Коэффициент передачи вентиляции определяется как отношение максимального расхода воздуха $Q_{возд}$ к выходному напряжению с регулятора $U_{вых1}$:

$$k_B = \frac{Q_{возд}}{\Delta U_{вых1}} = \frac{205}{(220-85)} = 1,52 \text{ м}^3/\text{час} \cdot \text{В}. \quad (31)$$

Постоянную времени вентиляции примем равной 0,8 с [40].

Тогда передаточная функция вентиляции:

$$W_{уу} = \frac{1,52}{0,8 \cdot s + 1}. \quad (32)$$

Регулятор напряжения 2 и 3 представим усилительным звеном:

$$W_{pн2} = W_{pн3} = k_{pн}, \quad (33)$$

где $W_{pн2}$ и $W_{pн3}$ – передаточные функции регуляторов напряжения 2 и 3;

$k_{рн}$ – коэффициент передачи регуляторов напряжения 2 и 3, В/В.

Коэффициенты передачи регуляторов напряжения 2 и 3 определяются как отношение выходного напряжения с регулятора $U_{\text{ВЫХ}2}$ к сигналу с контроллера $U_{к2}$:

$$W_{рн2} = W_{рн3} = \frac{U_{\text{ВЫХ}2}}{U_{к2}} = \frac{36}{10} = 3,6. \quad (34)$$

Устройство увлажнения представим апериодическим звеном:

$$W_{yy} = \frac{k_{yy}}{T_{yy} \cdot s + 1}, \quad (35)$$

где W_{yy} – передаточная функция устройства увлажнения;

k_{yy} – коэффициент передачи устройства увлажнения, г/(час · В);

T_{yy} – постоянная времени устройства увлажнения, с.

Коэффициент передачи устройства увлажнения определяется как отношение производительности устройства увлажнения Q_{yy} к выходному напряжению с регулятора $U_{\text{ВЫХ}2}$:

$$k_{yy} = \frac{Q_{yy}}{U_{\text{ВЫХ}2}} = \frac{1600}{36} = 44,4 \text{ г/(час} \cdot \text{В)}. \quad (36)$$

Постоянную времени устройства увлажнения примем равной 3 с. Тогда передаточная функция устройства увлажнения:

$$W_{yy} = \frac{44,4}{3 \cdot s + 1}. \quad (37)$$

Устройство осушения представим апериодическим звеном:

$$W_{yo} = \frac{k_{yo}}{T_{yo} \cdot s + 1}, \quad (38)$$

где W_{yo} – передаточная функция устройства осушения;

k_{yo} – коэффициент передачи устройства осушения, г/(час · В);

T_{yo} – постоянная времени устройства осушения, с.

Коэффициент передачи устройства осушения определяется как отношение производительности устройства осушения к выходному напряжению с регулятора:

$$k_{yo} = \frac{Q_{yo}}{U_{\text{ВЫХ}2}} = \frac{-2500}{36} = -69,4 \text{ г/(час} \cdot \text{В)}. \quad (39)$$

Постоянную времени устройства осушения примем равной 3 с. Тогда передаточная функция устройства осушения:

$$W_{y0} = \frac{-69,4}{3 \cdot s + 1}. \quad (40)$$

Составим модель изменения параметров помещения.

Изменение температуры помещения опишем следующей передаточной функцией [36]:

$$W_{ТП} = \frac{\frac{\alpha \cdot 15 + \alpha_x}{k_{ок} \cdot F_{ок}} + T_{ул}}{T_{ТП} \cdot s + 1}, \quad (41)$$

где $W_{ТП}$ – передаточная функция изменения температуры помещения;

$k_{ок}$ – коэффициент теплоотдачи ограждения, $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}$;

$F_{ок}$ – площадь ограждающей конструкции, м^2 ;

$T_{ул}$ – температура снаружи помещения, °C ;

$T_{ТП}$ – постоянная времени изменения температуры помещения, с.

Коэффициент теплоотдачи ограждения равен:

$$k_{ок} = 3,72 \text{ кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C} = 1,03 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}, \quad (42)$$

Площадь ограждающей конструкции равна:

$$F_{ок} = 2 \cdot (25 + 12) \cdot 4 = 296 \text{ м}^2, \quad (43)$$

Постоянная времени изменения температуры помещения:

$$T_{ТП} = \frac{G_{пм} \cdot c_{пм}}{k_{ок} \cdot F_{ок}} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 12 \cdot 1,29 \cdot 10^3}{3,72 \cdot 10^3 \cdot 296} = 1,406 \text{ час} = 5062 \text{ с}. \quad (44)$$

где $G_{пм}$ – масса воздуха помещения, кг;

$c_{пм}$ – удельная теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{°C}$ [42].

Тогда передаточная функция изменения температуры помещения:

$$W_{ТП} = \frac{\frac{\alpha \cdot 15}{305} + T_{ул}}{5062 \cdot s + 1}, \quad (45)$$

Для определения относительной влажности в помещении воспользуемся таблицей зависимости относительной влажности от температуры и концентрации воды в воздухе (рисунок 32) [43].

	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
100%	0,23	0,37	0,60	0,93	1,4	2,1	3,2	4,6	6,5	9,2	12,8	17,5	23,8	31,8	42,1
90%	0,21	0,34	0,54	0,84	1,3	1,9	2,8	4,1	5,9	8,3	11,5	15,8	21,4	28,6	37,9
80%	0,18	0,30	0,48	0,75	1,1	1,7	2,5	3,7	5,2	7,4	10,2	14,0	19,0	25,4	33,7
70%	0,16	0,26	0,42	0,65	1,0	1,5	2,2	3,2	4,6	6,4	9,0	12,3	16,6	22,3	29,5
60%	0,14	0,22	0,36	0,56	0,86	1,3	1,9	2,7	3,9	5,5	7,7	10,5	14,3	19,1	25,3
50%	0,11	0,19	0,30	0,47	0,71	1,1	1,6	2,3	3,3	4,6	6,4	8,8	11,9	15,9	21,1
40%	0,09	0,15	0,24	0,37	0,57	0,86	1,3	1,8	2,6	3,7	5,1	7,0	9,5	12,7	16,9
30%	0,07	0,11	0,18	0,28	0,43	0,64	0,95	1,4	2,0	2,8	3,8	5,3	7,1	9,5	12,6
20%	0,05	0,07	0,12	0,19	0,29	0,43	0,63	0,92	1,3	1,8	2,6	3,5	4,8	6,4	8,4
15%	0,03	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,47	0,69	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	4,8	6,3
10%	0,02	0,04	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2
5%	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,16	0,23	0,33	0,46	0,64	0,88	1,2	1,6	2,1
1%	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42

Рисунок 32 – Зависимость относительной влажности от температуры и концентрации воды в воздухе

Для удобства расчета относительной влажности в среде Matlab/Simulink определим её зависимость от концентрации воды в воздухе при различных температурах воздуха. По таблице удобнее построить обратную зависимость, то есть, какой должна быть концентрация воды для получения необходимой влажности. Используя таблицу, построили данные зависимости для различных температур (рисунок 33).

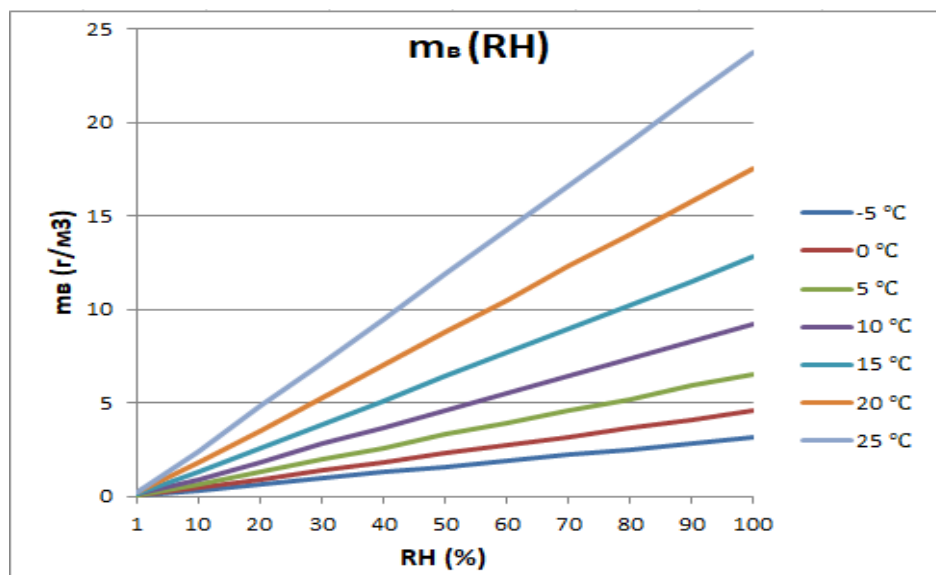


Рисунок 33 – Графики зависимости концентрация воды в воздухе для получения необходимой влажности

По графикам можно заметить линейную зависимость, причем графики проходят через ноль. Зависимость концентрация воды в воздухе для получения необходимой влажности можно представить в виде уравнения:

$$Q_B(RH) = k_i \cdot RH. \quad (46)$$

где Q_B – концентрация воды в воздухе, г/м³;
 k_i – коэффициенты преобразования, г/м³ · %;
 RH – относительная влажность, %.

Для каждой температуры необходимо определить коэффициент связи. Для этого достаточно взять по одной точке на каждом графике и, подставив значения концентрации и влажности, рассчитать коэффициенты. Для удобства были выбраны точки при относительной влажности равной ста процентам. Полученные коэффициенты представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Теоретически и функционально рассчитанные коэффициенты

Т, °С	-5	0	5	10	15	20	25
$k_{\text{теор}}$, г/м ³	0,032	0,046	0,065	0,092	0,128	0,175	0,238
$k_{\text{расч}}$, г/м ³	0,0369	0,046	0,0645	0,092	0,1289	0,175	0,2304

Получили зависимости концентрация воды в воздухе для получения необходимой влажности для нескольких значений температур. Для удобства использования необходимо свести эти зависимости в одно уравнение. Определим зависимость коэффициентов от температуры воздуха в помещении (рисунок 34).

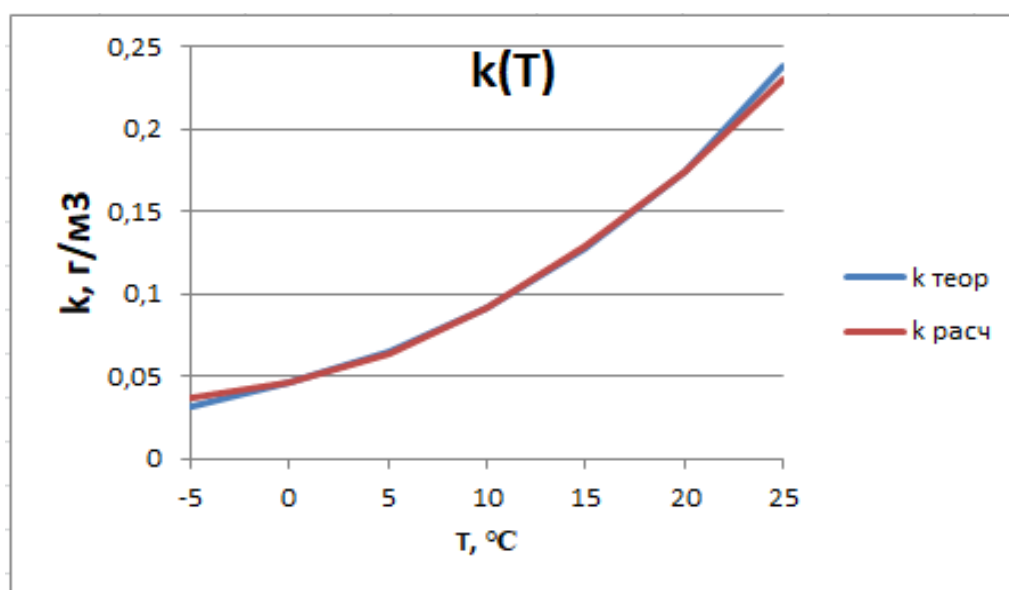


Рисунок 34 – Графики зависимости теоретически и функционально рассчитанных значений коэффициентов

На графике прослеживается квадратичная зависимость коэффициентов от температуры воздуха. Проведем расчет коэффициентов квадратичного уравнения, используя три точки.

Уравнение с найденными коэффициентами:

$$k(T) = 0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046 \quad (47)$$

где T – температура воздуха, °С;

k – коэффициент преобразования, г/м³ · %.

Коэффициенты, рассчитанные по полученному уравнению, представлены в таблице выше, а также в виде графика зависимости на рисунке выше.

Таким образом, окончательная формула зависимости концентрации воды в воздухе для получения необходимой влажности от температуры:

$$Q_B(RH, T) = (0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046) \cdot RH. \quad (48)$$

Отсюда зависимость относительной влажности от концентрации воды в воздухе и температуры:

$$RH(Q_B, T) = \frac{Q_B}{(0,000185 \cdot T^2 + 0,00275 \cdot T + 0,046)}. \quad (49)$$

Процесс изменения влажности воздуха в помещении представим аperiодическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{вп}} = \frac{k_{\text{вп}}}{T_{\text{вп}} \cdot s + 1}, \quad (50)$$

где $W_{\text{вп}}$ – передаточная функция изменения влажности в помещении;

$k_{\text{вп}}$ – коэффициент изменения влажности, час/м³;

$T_{\text{вп}}$ – постоянная времени изменения влажности в помещении, с.

Коэффициент изменения влажности равен отношению концентрации воды в воздухе f_B к производительности устройства увлажнения Q_{yy} . За концентрацию воды принято максимальное содержание воды в воздухе при ста градусах:

$$k_{\text{вп}} = \frac{f_B}{Q_{\text{yy}}} = \frac{588,208}{1600} = 0,368 \text{ час/м}^3, \quad (51)$$

Постоянная времени изменения влажности в помещении зависит от размера помещения. Учитывая перемещение воздушных масс под действием тепловых воздействий, примем:

$$T_{\text{вп}} = 1,406 \text{ час} = 5062 \text{ с.} \quad (52)$$

Тогда передаточная функция изменения влажности в помещении:

$$W_{\text{вп}} = \frac{0,368}{5062 \cdot s + 1}, \quad (53)$$

Процесс изменения качества воздуха в помещении представим апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{кп}} = \frac{k_{\text{кп}}}{T_{\text{кп}} \cdot s + 1}, \quad (54)$$

где $W_{\text{кп}}$ – передаточная функция изменения концентрации пыли в помещении;

$k_{\text{кп}}$ – коэффициент изменения концентрации пыли, час/м³;

$T_{\text{кп}}$ – постоянная времени изменения концентрации пыли в помещении, с.

Коэффициент концентрации пыли равен отношению концентрации пыли в помещении $f_{\text{п}}$ к производительности устройства увлажнения $Q_{\text{уу}}$:

$$k_{\text{кп}} = \frac{f_{\text{п}}}{Q_{\text{уу}}} = \frac{200}{205} = 0,98 \text{ час/м}^3. \quad (55)$$

Постоянная времени изменения концентрации пыли зависит от размера помещения. Для упрощения построения модели можно принять за постоянную времени время изменения температуры [44].

Тогда постоянная времени изменения концентрации пыли:

$$T_{\text{кп}} = 1,406 \text{ час} = 5062 \text{ с.} \quad (56)$$

Тогда передаточная функция изменения концентрации пыли в помещении:

$$W_{\text{кп}} = \frac{0,98}{5062 \cdot s + 1}, \quad (57)$$

Нашли передаточные функции всех элементов системы, кроме регуляторов, построили модель изменения параметров микроклимата. Математическая модель системы приведена на рисунке 35. Математическая модель помещения приведена на рисунке 36.

Далее выполним настройку регуляторов для управления клапанами системы отопления и охлаждения и управления вентиляторами систем увлажнения, осушения и вентиляции.

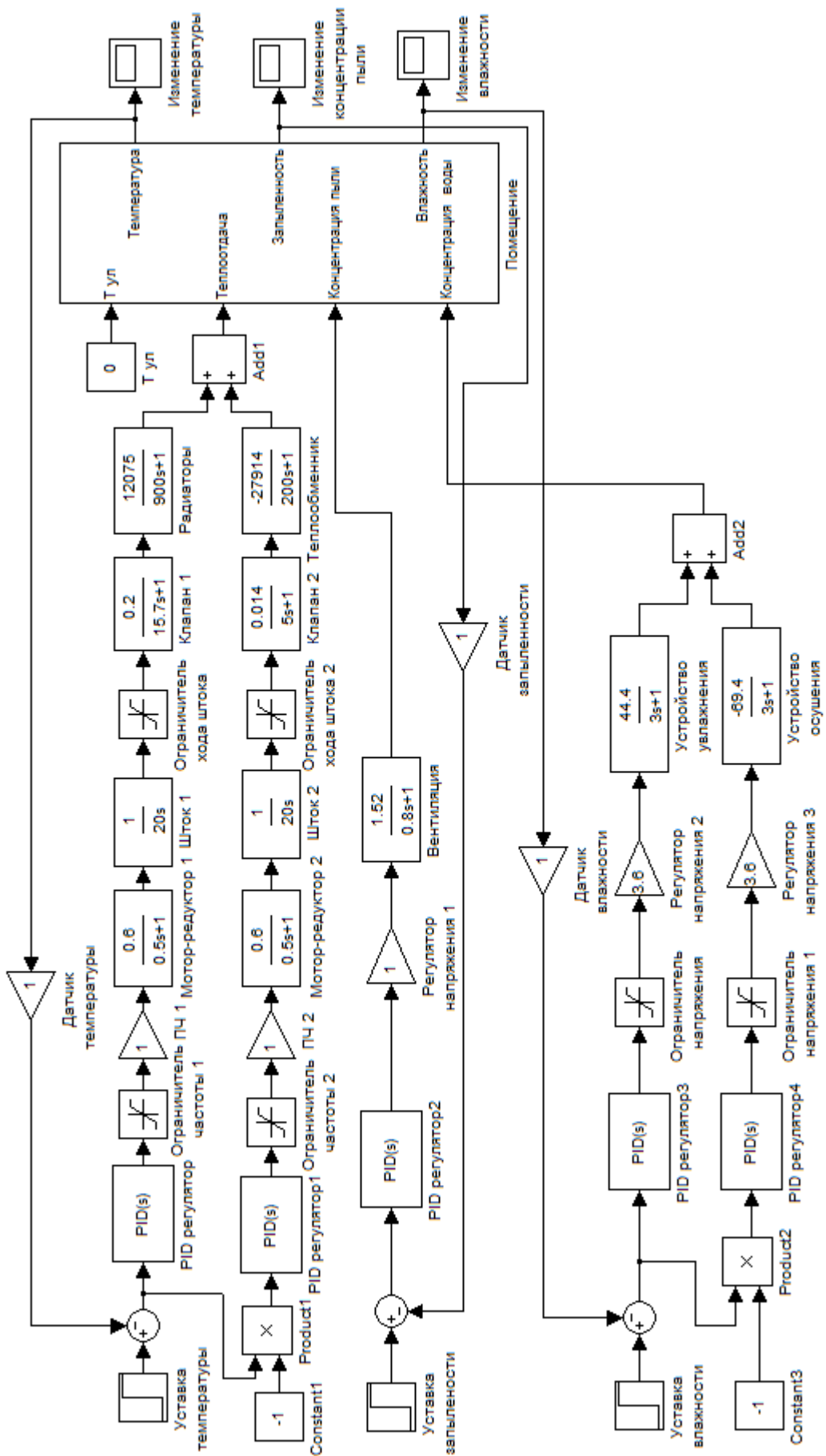


Рисунок 35 – Математическая модель системы автоматического регулирования

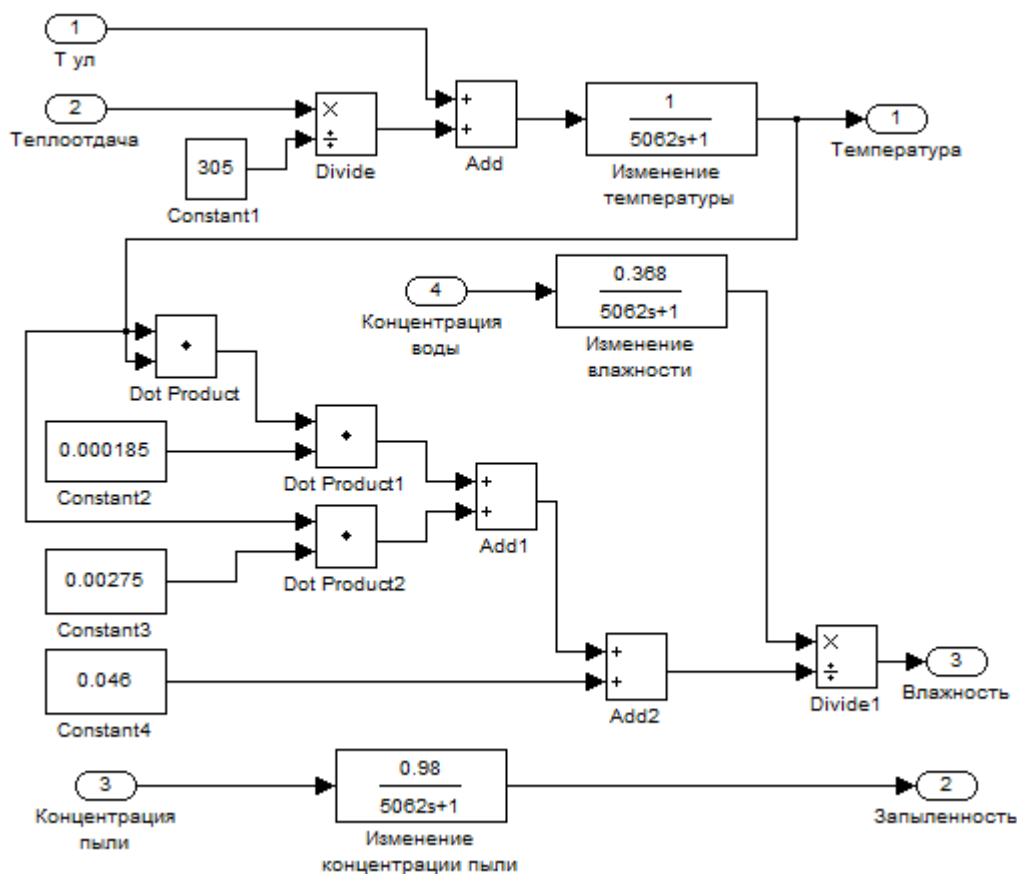


Рисунок 36 – Математическая модель помещения

3.7.3.2 Настройка регулятора

Формирование управляющих воздействий ПИД-регуляторов происходят в соответствии с разницей между уставками и значениями микроклимата. Настройки регуляторов проводились с помощью метода Циглера-Никольса, автоматической настройки в пакете Matlab и ручной настройкой.

Для настройки методом Циглера-Никольса отключаем интегральную и дифференциальную составляющие регулятора и изменяем пропорциональную составляющую до тех пор, пока система не выйдет на колебательный режим с постоянной амплитудой.

Выполним настройку регулятора для системы отопления. На колебательный режим система вышла при коэффициенте усиления равном 0,0054. Период колебаний равен 13542 секунд.

Рассчитаем параметры регулятора:

$$k_{\text{П}} = 0,6 K^* = 0,00324; \quad (58)$$

$$k_{и} = 1,2 K^* / T^* = 4,8 \cdot 10^{-7}; \quad (59)$$

$$k_{д} = 0,075 K^* \cdot T^* = 5,48; \quad (60)$$

где $k_{п}$ – пропорциональный коэффициент;

$k_{и}$ – интегральный коэффициент;

$k_{д}$ – дифференциальный коэффициент;

K^* – коэффициент усиления при колебательном режиме;

T^* – период колебания при колебательном режиме [45].

Подставив коэффициенты, получаем переходный процесс и показатели качества на рисунке 36. Время переходного процесса равно 48600 секунд, перерегулирование равно 62,3 процентов. Данный метод не достаточно хорош для настройки. Выполним настройку регулятора автоматически средствами Matlab. Переходный процесс, рассчитанные коэффициенты и показатели качества приведены на рисунке 37.

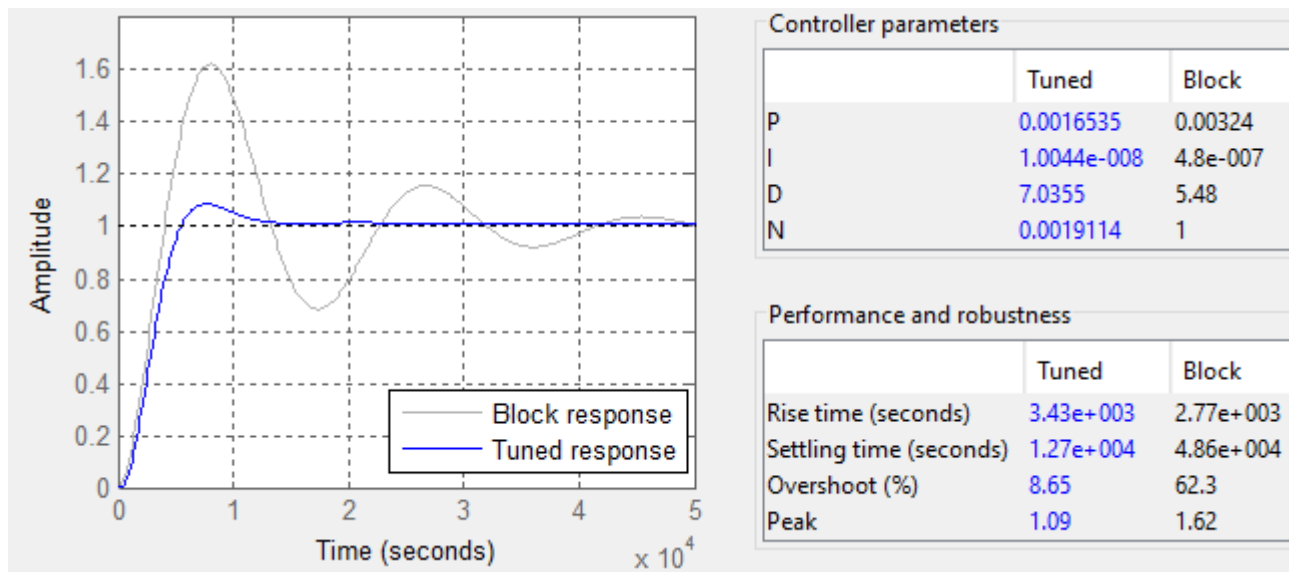


Рисунок 37 – Переходные процессы по методам Циглера-Никольса (Block response) и автоматической настройки (Tuned response) для системы отопления

Качество переходного процесса с коэффициентами, полученными автоматически, значительно лучше, чем рассчитанных по методу Циглера-Никольса.

Проведем подстройку параметров регулятора для улучшения качества переходного процесса на основе автоматически полученных коэффициентов.

Интегральная составляющая регулятора была исключена, поскольку не оказывала видимого влияния на качество переходного процесса, так как в системе преобладает интегрирующее звено. Таким образом, используем ПД-регулятор. Переходный процесс, коэффициенты регулятора и показатели качества приведены на рисунке 38.

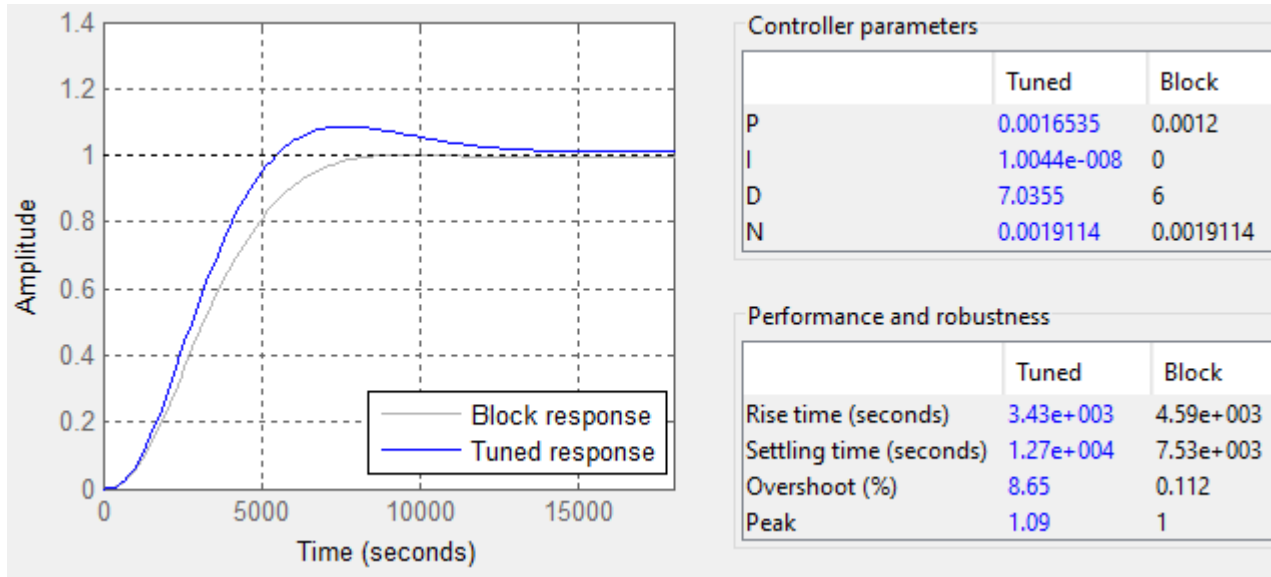


Рисунок 38 – Переходные процессы автоматической настройки (Tuned response) и ручной подстройки (Block response) регулятора для системы отопления
Сравнение показателей качества представлено в таблице 20.

Таблица 20 – Коэффициенты регулятора и сравнение показателей качества при различных методах настройки регулятора для системы отопления

Параметры	Метод Циглера-Никольса	Автоматическая настройка Matlab	Ручная подстройка
k_p	0,00324	0,0016535	0,0012
k_i	$4,8 \cdot 10^{-7}$	10^{-8}	0
k_d	5,48	7,0355	6
t_{per}, c	48600	12700	7530
$\sigma, \%$	62,3	8,65	0

Из таблицы видно, что наилучшим способом является ручная настройка. При данной настройке отсутствует перерегулирование и минимальное время переходного процесса.

Выполним настройку регулятора для системы охлаждения. На колебательный режим система вышла при коэффициенте усиления равном 0,13. Период колебаний равен 6446 секунд.

Рассчитаем параметры регулятора:

$$k_{\Pi} = 0,6 K^* = 0,078; \quad (61)$$

$$k_{\text{и}} = 1,2 K^*/T^* = 2,42 \cdot 10^{-5}; \quad (62)$$

$$k_{\text{д}} = 0,075 K^* \cdot T^* = 62,85. \quad (63)$$

Подставив коэффициенты, получаем переходный процесс и показатели качества на рисунке 38. Время переходного процесса равно 35500 секунд, перерегулирование равно 65,8 процентов. Данный метод не достаточно хорош для настройки.

Выполним настройку регулятора автоматически средствами Matlab. Переходный процесс, рассчитанные коэффициенты и показатели качества приведены на рисунке 39.

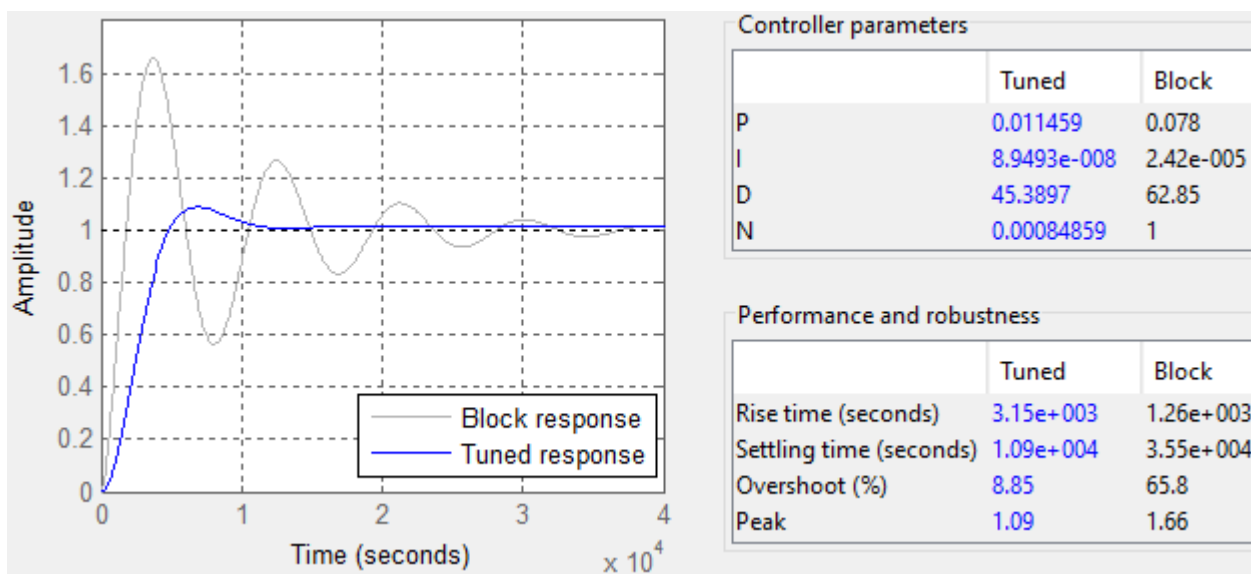


Рисунок 39 – Переходные процессы по методам Циглера-Никольса (Block response) и автоматической настройки (Tuned response) для системы охлаждения

Качество переходного процесса с коэффициентами, полученными автоматически, значительно лучше, чем рассчитанных по методу Циглера-Никольса.

Проведем подстройку параметров регулятора для улучшения качества переходного процесса на основе автоматически полученных коэффициентов. Интегральная составляющая регулятора была исключена, поскольку не оказывала видимого влияния на качество переходного процесса, так как в системе преобладает интегрирующее звено. Таким образом, используем ПД-регулятор. Переходный процесс, коэффициенты регулятора и показатели качества приведены на рисунке 40.

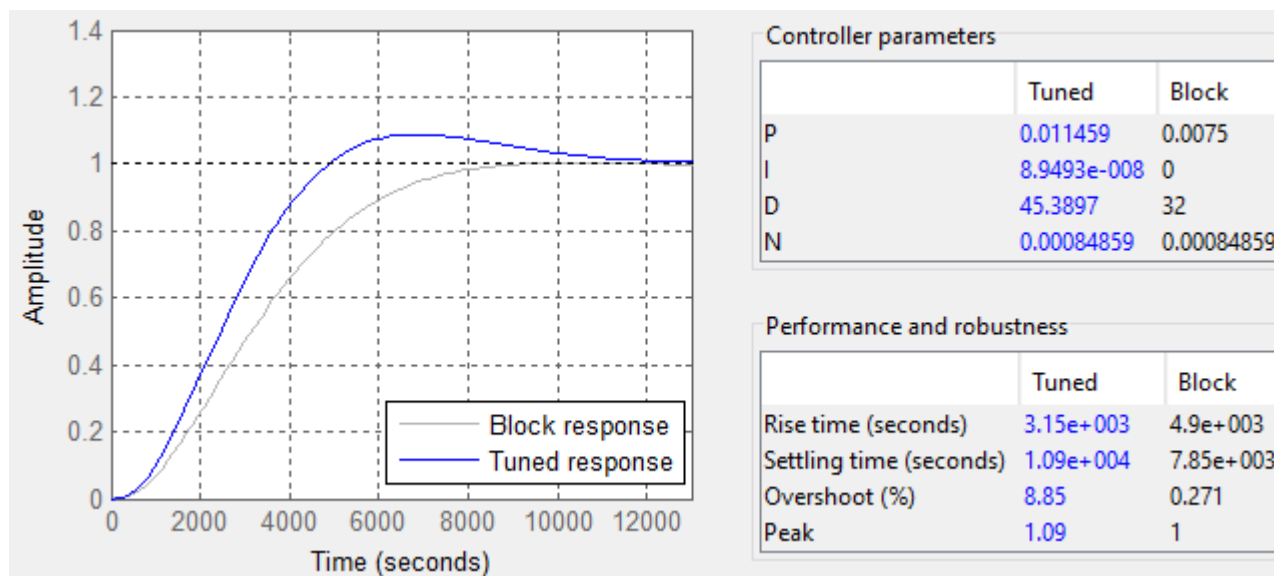


Рисунок 40 – Переходные процессы автоматической настройки (Tuned response) и ручной подстройки (Block response) регулятора для системы охлаждения

Сравнение показателей качества представлено в таблице 21.

Таблица 21 – Коэффициенты регулятора и сравнение показателей качества при различных методах настройки регулятора для системы охлаждения

Параметры	Метод Циглера-Никольса	Автоматическая настройка Matlab	Ручная подстройка
k_p	0,078	0,01146	0,0075
k_i	$2,42 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-8}$	0
k_d	62,85	45,39	32
t_{per}, c	35500	10900	7850
$\sigma, \%$	65,8	8,85	0

Из таблицы видно, что наилучшим способом является ручная настройка. При данной настройке отсутствует перерегулирование и минимальное время переходного процесса.

Выполним настройку регулятора для системы увлажнения автоматически средствами Matlab. Далее проведем подстройку параметров регулятора для улучшения качества переходного процесса. Переходные процессы, коэффициенты регулятора и показатели качества приведены на рисунке 41.

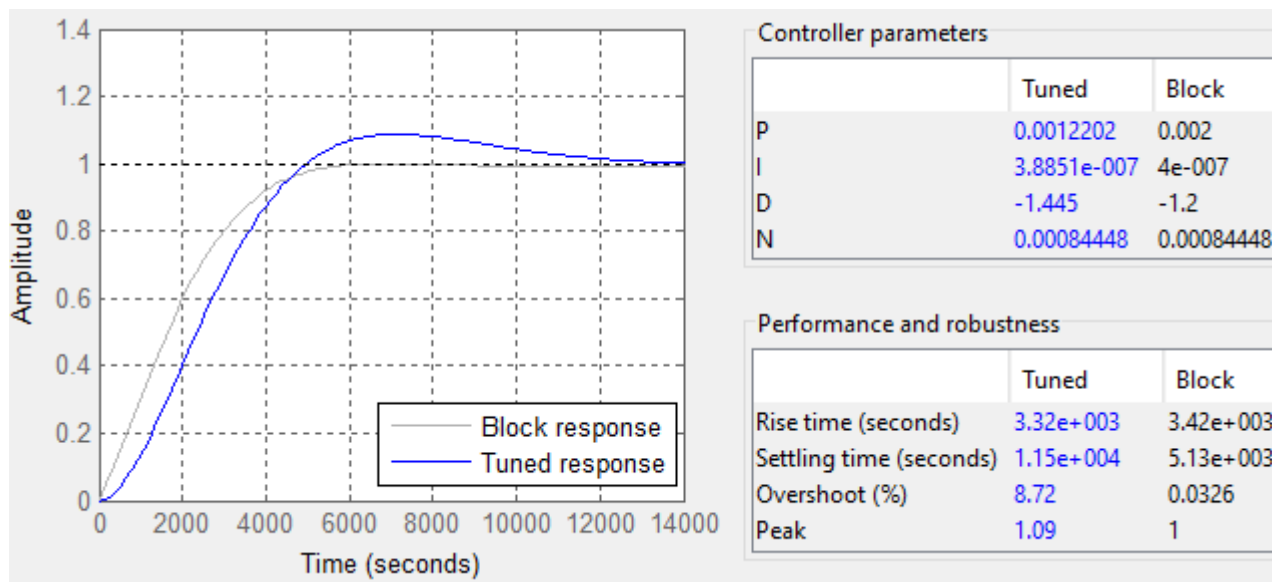


Рисунок 41 – Переходные процессы автоматической настройки (Tuned response) и ручной подстройки (Block response) регулятора для системы увлажнения. Сравнение показателей качества представлено в таблице 22.

Таблица 22 – Коэффициенты регулятора и сравнение показателей качества при различных методах настройки регулятора для системы увлажнения

Параметры	Автоматическая настройка Matlab	Ручная подстройка
k_p	0,00122	0,002
k_i	$3,885 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
k_d	-1,445	-1,2
$t_{пер}, c$	11500	5130
$\sigma, \%$	8,72	0

При ручной подстройке отсутствует перерегулирование и минимальное время переходного процесса.

Выполним настройку регулятора для системы осушения автоматически средствами Matlab. Далее проведем подстройку параметров регулятора для улучшения качества переходного процесса. Переходные процессы, коэффициенты регулятора и показатели качества приведены на рисунке 42.

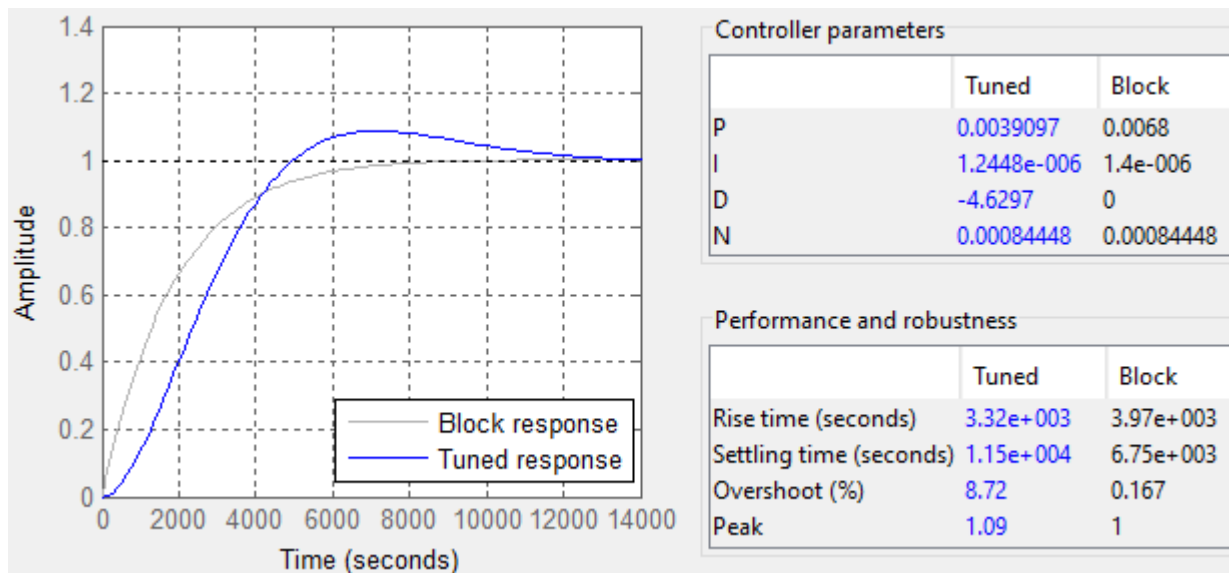


Рисунок 42 – Переходные процессы при автоматической настройке (Tuned response) и ручной подстройке (Block response) регулятора для системы осушения

Сравнение показателей качества представлено в таблице 23.

Таблица 23 – Коэффициенты регулятора и сравнение показателей качества при различных методах настройки регулятора для системы осушения

Параметры	Автоматическая настройка Matlab	Ручная подстройка
k_p	0,00391	0,0068
k_i	$1,2448 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
k_d	-4,63	0
$t_{пер}, c$	11500	6750
$\sigma, \%$	8,72	0

При ручной подстройке отсутствует перерегулирование и минимальное время переходного процесса.

Выполним настройку регулятора для системы вентиляции автоматически средствами Matlab. Далее проведем подстройку параметров регулятора для улучшения качества переходного процесса. При изменении дифференциальной составляющей не наблюдалось существенного изменения качества, поэтому данная составляющая была исключена. Для системы вентиляции используем ПИ-регулятор. Переходные процессы, коэффициенты регулятора и показатели качества приведены на рисунке 43.

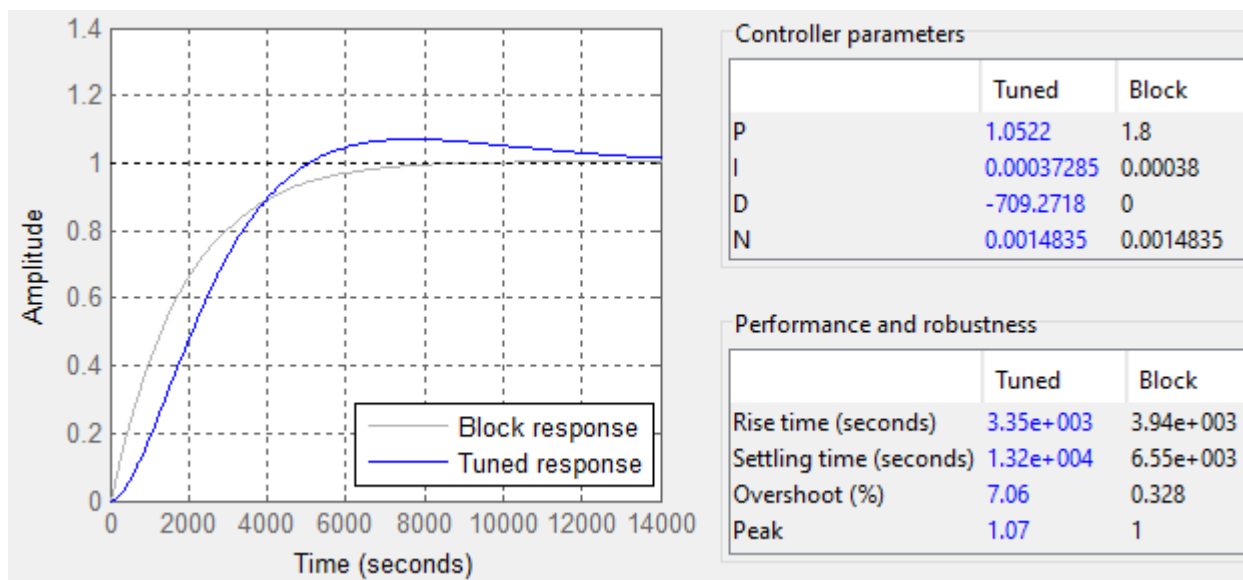


Рисунок 43 – Переходные процессы автоматической настройки (Tuned response) и ручной подстройки (Block response) регулятора для системы вентиляции

Сравнение показателей качества представлено в таблице 24.

Таблица 24 – Коэффициенты регулятора и сравнение показателей качества при различных методах настройки регулятора для системы вентиляции

Параметры	Автоматическая настройка Matlab	Ручная подстройка
k_p	1,0522	1,8
k_i	$3,73 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
k_d	-709,27	0
$t_{пер}, c$	13200	6550
$\sigma, \%$	7,06	0

При ручной подстройке отсутствует перерегулирование и минимальное время переходного процесса.

Получена математическая модель системы поддержания параметров микроклимата с настроенными регуляторами.

3.7.3.3 Анализ поведения системы при внешнем воздействии

Смоделируем ситуацию, когда действует внешняя температура на промышленное помещение. Внешняя температура будет динамически изменяться в течение светового дня по гармоническому закону с амплитудой 8 градусов,

начиная со скачка в 10 градусов. Переходный процесс и график изменения температуры улицы приведены на рисунке 44.

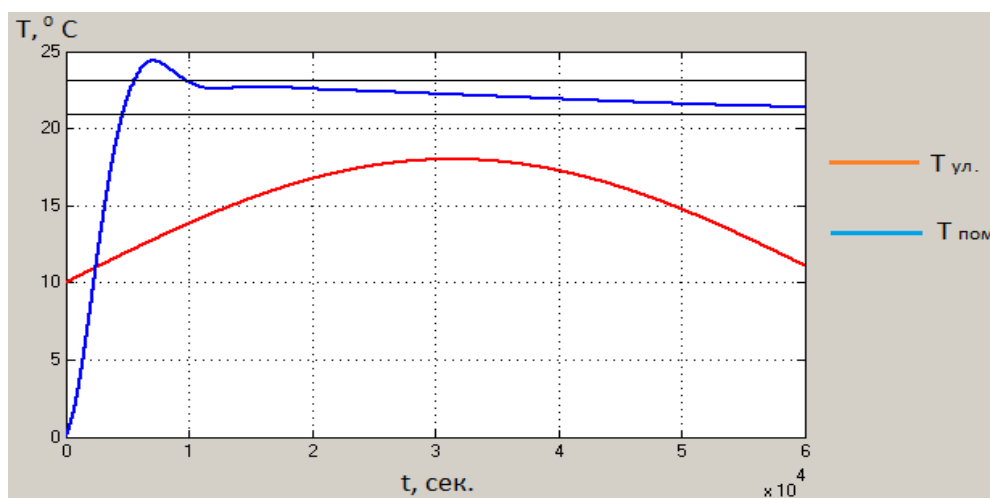


Рисунок 44 – Переходный процесс с внешним воздействием

На графике видно, что система обрабатывает возмущение и далее держит температуру в помещении в диапазоне 5 % от уставки. Данную систему можно использовать в качестве системы стабилизации температуры в помещении. Переходный процесс по возмущающему воздействию получил перерегулирование 11 процентов и время регулирования равное 9880 секунд.

3.8 Разработка экранных форм

На рабочем месте оператора располагается персональный компьютер с показаниями состояния работы системы. Экранная форма работы системы приведена в приложении Д. Форма содержит графики изменения показателей микроклимата в помещении (температуру, влажность, уровень запыленности). Слева вверху содержатся кнопки включения и отключения системы, блок о состоянии работы устройств увлажнения, осушения и вентиляции, блок сигнализации аварийных ситуаций, блок показаний процента открытия клапанов и объема использования теплоносителя. При возникновении аварийной ситуации происходит моргание соответствующей панели.

В данном случае включены устройство увлажнения, вентиляции, открыт клапан радиатора на 40 %, открыт клапан теплообменника на 10 %, устройство осушения отключено. Также сигнализируется неполадка с датчиком пыли № 2.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел выпускной квалификационной работы предназначен для анализа конкурентоспособности, ресурсоэффективности и расчёта бюджета проводимой разработки. Настоящая работа проводится в лаборатории автоматизации технологических процессов (ауд. 207а 10 корпуса ТПУ) и предполагает исследование эффективности методов поддержания параметров микроклимата в производственном помещении. Для решения поставленной инженерной задачи применяется программный пакет MATLAB в качестве средства для моделирования и отладки системы автоматического регулирования параметров микроклимата (температуры, влажности и содержания пыли в воздухе). Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом разработки является система автоматического регулирования параметров микроклимата производственного помещения. Потенциальными потребителями системы могут выступать промышленные предприятия (производство товаров, складские помещения), объекты жилищно-коммунальной сферы (котельные), офисные помещения. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 25.

Таблица 25 – Карта сегментирования

		Сфера использования		
		Промышленные предприятия	Объекты ЖКХ	Офисные помещения
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят мелкие и средние предприятия по производству товаров и их складированию, мелкие и средние объекты ЖКХ, а также любые офисные помещения. Для использования в более крупных организациях требуется внедрить в систему поддержку промышленных сетей и настроить взаимодействие со SCADA-системами.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

На российском рынке в качестве производителей систем автоматического регулирования параметров микроклимата выберем компании «ОВЕН» и «Технологии микроклимата».

Компания «ОВЕН» специализируется на изготовлении различного вида датчиков и контроллеров, в том числе и для систем поддержания микроклимата. Помимо поставок оборудования компания осуществляет разработку и внедрение проектов автоматизации на собственном оборудовании. В системе управления микроклиматом используется контроллер, преобразователь интерфейсов, датчики температуры и влажности, датчик концентрации углекислого газа, релейные модули вывода.

Московский завод «Технологии микроклимата» предлагает оборудования для поддержания микроклимата, а также услуги по проектированию систем вентиляции, кондиционированию, холодоснабжению, отоплению. Тем самым обеспечивает комплексную автоматизацию поддержания климата производственных помещений.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [46]:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (64)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки;

V_i – вес показателя;

B_i – балл i -го показателя.

Сравнительная таблица конкурирующих технических решений приведена в таблице 26.

Таблица 26 – Сравнение конкурирующих технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство в эксплуатации	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Помехоустойчивость	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Энергосбережение	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,40
Надежность	0,1	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Безопасность	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
Качество работы системы	0,12	5	5	3	0,60	0,60	0,36
Точность измерений	0,1	5	4	3	0,50	0,40	0,30
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
Цена	0,1	4	4	5	0,40	0,40	0,50
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	4	0,50	0,40	0,40
Доступность	0,06	5	5	5	0,30	0,30	0,30
Срок выхода на рынок	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
Итого	1	54	51	48	4,48	4,28	4,05

По результатам расчётов таблицы 26 можно заключить, что разрабатываемая система конкурентоспособна на рынке. Разработка проигрывает системе компании «ОВЕН» в удобстве эксплуатации за счёт отсутствия взаимодействия со SCADA-системами на данном этапе разработки, а также компании «Технологии микроклимата» в энергосбережении и цене реализации за счет большего набора исполнительных устройств.

К сильным сторонам можно отнести точность измерения параметров за счет использования нескольких датчиков и качественной обработкой результатов, качества работы системы по сравнению с фирмой «Технологии микроклимата» за счет регулирования трех параметров микроклимата, а также предполагаемый срок эксплуатации за счет использования не электронных устройств обогрева и охлаждения.

4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ проводится для комплексной оценки внешней и внутренней среды проекта. При SWOT-анализе рассматриваются сильные и слабые стороны, возможности и угрозы применительно к способу решения поставленной задачи. Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в таблице 27.

Таблица 27 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны (НИП): С1. Точность измерения за счет качественной обработки данных; С2. Энергосбережение за счет эффективного использования устройств; С3. Предварительное моделирование работы системы; С4. Наличие бюджетного финансирования со стороны университета; С5. Возможность применение сложных алгоритмов управления.	Слабые стороны (НИП): Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для испытаний; Сл2. Сложность проведения идентификации объекта управления; Сл3. Отсутствие практических знаний по обустройству системы; Сл4. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров; Сл5. Затраты на программное обеспечение для моделирования.
Возможности: В1. Использование инноваций инфраструктуры ТПУ; В2. Использование существующего программного обеспечения; В3. Появление спроса на новый продукт; В4. Повышение стоимости конкурентных разработок; В5. Использование Российского оборудования.	В1В3В4С1С2. Создание конкурентоспособного проекта. В2С3С5. Использование доступного современного оборудования и программного обеспечения, способного повысить качество работы установки.	В3Сл1Сл2. Прохождение практики на предприятии заказчика; В1Сл3. Использование результатов сторонних исследователей; В1В2Сл5. Использование доступного программного обеспечения, приобретенного в ТПУ.
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства; У2. Оптимизация затрат на предприятии; У3. Несвоевременное финансирование научного исследования; У4. Ограничение на экспорт технологии;	У1С1С2. Улучшать качество работы системы, по сравнению с конкурирующими разработчиками; У2С2С3. Снижение стоимости на внедрения и работу системы; У3С4. Бюджетное финансирование позволяет проводить моделирование работы системы.	У1У4Сл1. Способствует неконкурентоспособности без проведения испытания на объектах или их моделях; У2Сл3Сл5. Приведет к удорожанию системы, если не использовать доступные исследования и программное обеспечение; У3Сл5. Невозможность проведения исследования без использования доступного программного обеспечения.

По итогам SWOT-анализа выявлены возможности и сильные стороны для дальнейшего развития, как настоящей системы автоматического регулирования, так и в целом подхода к созданию подобных систем. Также подчеркиваются слабые стороны разрабатываемого проекта и возможные угрозы на пути исследования и внедрения системы.

Для противодействия угрозам У1 и У4 следует улучшить качество работы системы путем точности обработки данных о состоянии параметров микроклимата в помещении и снизить энергетические затраты на обслуживание системы для повышения конкурентоспособности на Российском рынке.

В случае необходимости снижения затрат на разработку и внедрение системы (угроза У2) следует предварительно исследовать работу системы на модели и разработать способы снижения затрат на обслуживание системы.

Если недостаточное финансирование исследование (угроза У3), то за счет бюджетного финансирования можно провести моделирование работы системы в доступной программной среде.

Таким образом, использование возможностей и сильных сторон позволяет противодействовать приведённым угрозам.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

Для успешного выполнения работы необходимо грамотно распределить время, для этого составим график проведения научно-технического исследования.

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа. Разобьем процесс выполнения ВКР на этапы и работы, которые необходимо сделать для достижения результата. При реализации проекта рассматриваются два исполнителя: научный руководитель (НР) и инженер (И). Структура работ и распределение занятости исполнителей приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Перечень этапов, работ и распределения исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР – 40% И – 60%
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	НР – 30% И – 70%
	3	Изучение существующих систем	И – 100%
	4	Календарное планирование работ	НР – 20% И – 80%
Разработка системы и проектирование	5	Описание технологического процесса	И – 100%
	6	Разработка структурной схемы	И – 100%
	7	Разработка функциональной схемы автоматизации	И – 100%
	8	Выбор средств реализации	И – 100%
	9	Разработка схемы внешних проводок	И – 100%
	10	Разработка алгоритмов управления	И – 100%
	11	Получение математической модели системы	И – 100%
	12	Моделирование	И – 100%
	13	Анализ данных	И – 100%
	14	Разработка экранных форм	И – 100%
Оформление отчета	15	Составление пояснительной записки	И – 100%

4.4.2 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Для определения трудоемкости работ будем использовать такие показатели как ожидаемая трудоемкость, продолжительность выполнения i – ой работы в календарных днях, коэффициент календарности.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (65)$$

где $t_{min\ i}$ – минимальная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.дн.;

$t_{max\ i}$ – максимальная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.дн.

Из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (66)$$

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

Рассчитанные значения представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Трудоемкость работ						Исполн ители	T_{pi} , раб. дн.		T_{ki} , кал. дн.	
	$t_{\min i}$, чел.дни		$t_{\max i}$, чел.дни		$t_{ожi}$, чел.-дни			И	Р	И	Р
	И	Р	И	Р	И	Р					
1	3	5	4	7	3,4	5,8	2	1,7	2,9	2	4
2	10	3	13	5	11,2	3,8	2	5,6	1,9	7	2
3	5	–	7	–	5,8	–	1	5,8	–	7	–
4	2	1	4	2	2,8	1,4	2	1,4	0,7	2	1
5	4	–	5	–	4,4	–	1	4,4	–	5	–
6	3	–	5	–	3,8	–	1	3,8	–	5	–
7	6	–	8	–	6,8	–	1	6,8	–	8	–
8	10	–	15	–	12	–	1	12	–	15	–
9	5	–	8	–	6,2	–	1	6,2	–	8	–
10	4	–	6	–	4,8	–	1	4,8	–	6	–
11	11	–	15	–	12,6	–	1	12,6	–	16	–
12	10	–	14	–	11,6	–	1	11,6	–	14	–
13	3	–	5	–	3,8	–	1	3,8	–	5	–
14	3	–	5	–	3,8	–	1	3,8	–	5	–
15	7	–	10	–	8,2	–	1	8,2	–	10	–
Итого								88,7	5,5	115	7

Для удобства построения диаграммы Ганта, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (67)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (68)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности (2021 год):

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 56 - 14} = \frac{365}{295} = 1,237. \quad (69)$$

Все рассчитанные значения приведены в таблице 29 [46].

На основании таблицы 29 построили диаграмму Ганта (рисунок 45), представляющую из себя ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками.

№ работы	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
			Февраль			Март			Апрель			Май				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	НР И	4 2	■													
2	НР И	7 2		■												
3	И	7			■											
4	НР И	2 1				■										
5	И	5				■										
6	И	5					■									
7	И	8						■								
8	И	15							■							
9	И	8								■						
10	И	6									■					
11	И	16										■				
12	И	14											■			
13	И	5												■		
14	И	5													■	
15	И	10														■

■ Научный руководитель ■ Инженер

Рисунок 45 – Диаграмма Ганта

Из диаграммы на рисунке 45 видно, что практическая часть всего исследования занимает более двух календарных месяцев. Наибольший промежуток времени уйдет на выбор необходимых средств для реализации автоматизированной системы и составление математической модели, что связано со сложностью системы, а также на моделирование работы системы.

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об экономической эффективности работы. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов: материальные затраты, амортизационные отчисления, заработная плата исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В этом подразделе оценивается стоимость всех материальных ценностей, непосредственно расходуемых в процессе выполнения научно-исследовательской работы.

Затраты на материалы включают в себя расходы на канцелярские принадлежности. Теоретические исследования, а также моделирование системы требуют ряд программных продуктов: Microsoft Office, Microsoft Excel, Microsoft Visio, MATLAB и CODESYS. Все эти программы предоставляются бесплатно для студентов ТПУ, либо их можно найти в свободном доступе в сети «Интернет». Программа CODESYS, разработанная компанией «ОВЕН», предоставляется ею бесплатно на официальном сайте компании. Для исследований используется персональный компьютер. В материальные затраты также включаются транспортно-заготовительные расходы (ТЗР) в пределах от 5% до 20% от общей цены материалов.

Расчёт материальных затрат приведён в таблице 30 [46].

Таблица 30 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, Z_m , руб.
Тетрадь, 48 л.	Шт.	1	50	50
Шариковая ручка	Шт.	1	30	30
Печатная бумага, 500 листов	Упаковка	1	350	350
Итого				430
Итого с учетом ТЗР (10%)				473

Общая стоимость материальных затрат составила 473 рубля.

4.5.2 Расчет амортизационных отчислений

Написание выпускной квалификационной работы занимает по плану четыре месяца. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью сорок тысяч рублей и принтер стоимостью восемь тысяч рублей. Срок полезного использования для офисной техники примем три года.

Норма амортизации H_A рассчитывается как [46]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (70)$$

Где T – срок полезного использования, лет.

Норма амортизации H_A :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%. \quad (71)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{\text{год}} = 48000 \cdot 0,33\% = 15840 \text{ руб.} \quad (72)$$

Сумма амортизации за четыре месяца равна:

$$A_{\text{4мес}} = \frac{15840}{12} \cdot 4 = 5280 \text{ руб.} \quad (73)$$

4.5.3 Расчет заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ студента и научного руководителя за выполнение НИИ, рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (74)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – средняя заработная плата, руб.;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

Среднедневная заработная плата $Z_{\text{дн}}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (75)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – 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;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (рабочих днях) таблица 31.

Таблица 31 – Баланс рабочего времени

Показатель рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (76)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска) [47].

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 32.

Таблица 32 – Основная заработная плата

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м, руб.}$	$Z_{дн, руб.}$	$T_{р, раб. дн.}$	$Z_{осн, руб.}$
Руководитель	36174	0,3	0,2	1,3	70539,3	2922,74	5,5	16075,07
Инженер	18426	0,3	0,2	1,3	35930,7	1488,76	88,7	132053,2
Итого								148128,27

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \cdot k_{р}, \quad (77)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принять равным 0,1).

Полученные значения дополнительной заработной платы приведены в таблице 33 [46].

Таблица 33 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$Z_{осн, руб.}$	$Z_{доп, руб.}$	$Z_{внеб, руб.}$
Руководитель	16075,07	2089,76	4722,86
Инженер	132053,2	17166,92	38797,23
Итого	148128,27	19256,68	43520,09

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot k_{р}, \quad (78)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [1].

На 2021 г. $k_{внеб}$ для образовательных и научных учреждений составляет 20 % [48].

Рассчитанная величина отчислений во внебюджетные фонды представлена в таблице 33.

Рассчитаем затраты на электроэнергию. Энергопотребление ноутбука составляет 0,06435 кВт · час. Считаем рабочий день восьмичасовым и, зная количество дней, рассчитываем потребленную мощность ноутбука:

$$P_H = 0,06435 \cdot 8 \cdot 94,2 = 48,5 \text{ кВт}, \quad (79)$$

Стоимость 1 кВт составляет 4,21 руб. Затраты на энергопотребление ноутбука составят:

$$Z_{\text{эл}} = 48,5 \cdot 4,21 = 204,26 \text{ руб.} \quad (80)$$

Накладные расходы принимаются в размере 16% от величины всех остальных расходов [46].

$$Z_{\text{накл}} = (473 + 5280 + 148128 + 19257 + 204) \cdot 0,16 = 27734 \text{ руб.} \quad (81)$$

4.5.4 Расчёт общей себестоимости

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 34.

Таблица 34 – Суммарные расходы

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	473	0,19
Затраты на амортизацию	5280	2,16
Основная заработная плата	148128,27	60,56
Дополнительная заработная плата	19256,68	7,87
Страховые взносы	43520,09	17,80
Затраты на электроэнергию	204,26	0,08
Накладные расходы	27734,2	11,34
Итого	244595,0	100

В ходе подсчёта затрат на разработку проекта выявлено, что основная часть (68,43 %) средств расходуется на заработную плату исполнителей.

Большую часть расходов финансировал Томский политехнический университет. Финансирование осуществлялось на оплату заработной платы и путем предоставления оборудования, а именно персонального компьютера, который размещен в лаборатории со всем необходимым программным обеспечением. Непосредственные затраты студента складываются из затрат на канцелярские товары.

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [46]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (82)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Система на основе программируемого логического контроллера «ОВЕН ПЛК 110» производства компании «ОВЕН» общей стоимостью 254976 руб. [49].

Проектирование системы компанией «Технологии микроклимата» общей стоимостью 243000 руб. [50].

$$I_{\text{финр}}^0 = \frac{244595}{254976} = 0,96, \quad (83)$$

$$I_{\text{финр}}^1 = \frac{254976}{254976} = 1, \quad (84)$$

$$I_{\text{финр}}^1 = \frac{243000}{254976} = 0,95. \quad (85)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [46]:

$$I_{pi} = \sum \alpha_i \cdot b_i, \quad (86)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

α_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Сравнение вариантов проекта представлено в таблице 35.

Таблица 35 – Сравнительная оценка ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Ресурсоэффективность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Удобство в эксплуатации	0,095	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Помехоустойчивость	0,095	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Энергосбережение	0,127	4	4	5	0,32	0,32	0,40
Надежность	0,159	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Безопасность	0,175	4	4	4	0,44	0,44	0,44
Качество работы системы	0,190	5	5	3	0,60	0,60	0,36
Точность измерений	0,159	5	4	3	0,50	0,40	0,30
Итого	1	31	31	23	2,84	2,74	2,48

$$I_{p0} = 0,38 + 0,38 + 0,508 + 0,795 + 0,7 + 0,95 + 0,795 = 4,508; \quad (87)$$

$$I_{p1} = 0,38 + 0,38 + 0,508 + 0,795 + 0,7 + 0,95 + 0,636 = 4,349; \quad (88)$$

$$I_{p2} = 0,38 + 0,38 + 0,635 + 0,795 + 0,7 + 0,57 + 0,477 = 3,937. \quad (89)$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финр}^i}. \quad (90)$$

Для разрабатываемой системы:

$$I_{исп0} = \frac{4,508}{0,96} = 4,70. \quad (91)$$

Для рассматриваемых аналогов:

$$I_{исп1} = \frac{4,349}{1} = 4,35, \quad (92)$$

$$I_{исп2} = \frac{3,937}{0,95} = 4,14. \quad (93)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп0}}{I_{испi}}. \quad (94)$$

Сравнение эффективности представлено в таблице 36.

Таблица 36 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки $I_{финр}^ш$	0,96	1	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности I_{pi}	4,508	4,349	3,937
3	Интегральный показатель эффективности $I_{испi}$	4,70	4,35	4,14
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения \mathcal{E}_{cp}	1	1,08	1,13

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что разрабатываемая система автоматического регулирования микроклимата помещения превосходит другие аналоги по интегральному показателю ресурсоэффективности за счёт повышения точности измерения и качественной работе системы. Также система превосходить аналоги по стоимости разработки. Таким образом, сравнительная эффективность разработки выше аналогичных представленных разработок.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресусосбережение»

В данном разделе оценены экономические аспекты исследуемого подхода к построению системы автоматического регулирования параметров микроклимата.

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена на мелких и средних промышленных предприятиях по производству товаров и складированию, объектах ЖКХ, а также офисных помещениях (см. подраздел 4.1).

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Выявлено два конкурента: компания «ОВЕН» и Московский завод «Технологии микроклимата». Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкуренту по энергосбережению (см. подраздел 4.2), однако выигрывает по точности измерения и качественной работе системы за счет регулирования трех параметров

микроклимата, в отличие от аналогичной системы, разработанной для двух параметров.

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: развитая конкуренция технологии производства, необходимость снижения затрат на производстве, несвоевременное финансирование научного исследования и ограничение на экспорт технологии. Возможные пути снижения влияния выявленных угроз представлены в подразделе 4.3.

4. Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 148128,27 руб. (60,56 %), дополнительная – 19256,68 руб. (7,87 %). На втором месте страховые взносы – 43520,09 руб. (17,80%). Затем идут накладные расходы – 27734,20 руб. (11,34 %). Меньше всего средств уходит на оплату электроэнергии – 204,26 (0,08 %), материальные затраты – 473,00 руб. (0,19%) и на амортизацию – 5280,00 руб. (2,16 %). Общий бюджет разработки составил 244595,00 руб. При этом запланированная продолжительность работы составляет 115 дней.

5. В подразделе 4.6 оценена экономическая эффективность разработки. Разрабатываемая система превосходит другие аналоги по интегральному показателю ресурсоэффективности за счёт повышения точности измерения и качественной работе системы. Также система превосходить аналоги по стоимости разработки за счет использования доступного программного обеспечения и части оборудования Российского производства. Таким образом, сравнительная эффективность разработки выше аналогичных представленных разработок.

5. Социальная ответственность

В ВКР рассматривается проектирование автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения, в состав которой входят устройства поддержания микроклимата (нагреватели, вентиляция, осушители и увлажнители воздуха), датчики и панель управления. Автоматизация производства позволяет осуществлять технологические процессы без непосредственного участия обслуживающего персонала. В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматриваются вопросы выявления и анализа вредных и опасных факторов труда, разработки мер защиты от них для рабочего места оператора.

Микроклимат помещений влияет на состояние здоровья человека и его работоспособность, а также на состояние оборудования и материалов. Для обеспечения требуемых показателей необходима качественная обработка данных о состоянии микроклимата и принятие мер по поддержанию параметров.

Объектом исследования будет выступать рабочее место сотрудника отдела автоматизации технологических процессов.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В процессе осуществления трудовой деятельности на оператора могут оказывать воздействие производственные факторы, такие как: шум, влажность воздуха, температура воздуха, электромагнитное излучение, недостаточная освещенность. Для сохранения здоровья работника предусмотрен ряд мер, обеспечивающих безопасность трудовой деятельности.

Рабочее место оператора представляет собой закрытое, отапливаемое, вентилируемое помещение площадью 20 м², в котором установлен персональный компьютер.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [51].

Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку,

желательно слева. Стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики. Целесообразно применение столов, имеющих отдельную от основной столешницы специальную рабочую поверхность для размещения клавиатуры. Используются рабочие столы с регулируемой и нерегулируемой высотой рабочей поверхности. При отсутствии регулировки высота стола должна быть в пределах (680 – 800) мм.

Глубина рабочей поверхности стола должна составлять 800 мм (допускаемая не менее 600 мм), ширина – соответственно 1 600 мм и 1 200 мм. Рабочая поверхность стола не должна иметь острых углов и краев, иметь матовую или полуматовую фактуру. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700 мм), но не ближе 500 мм.

Для обеспечения физиологически рациональной рабочей позы, создания условий для ее изменения в течение рабочего дня применяются подъемно-поворотные рабочие стулья с сиденьем и спинкой, регулируемые по высоте и углам наклона, а также расстоянию спинки от переднего края сидения.

Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 – 550) мм и углом наклона вперед до 15 ° и назад до 5 °;
- высоту опорной поверхности спинки (300 ± 20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах (0 ± 30) °;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах (260 – 400) мм;

– стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной (50 – 70) мм;

– регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (230 ± 30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм;

– поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим не электризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от загрязнения.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм [52].

Трудовой кодекс Российской Федерации регулирует отношения между работником и работодателем на территории Российской Федерации. В нём изложены основные нормы и правила, которые обязаны соблюдать рабочий и работодатель в случае возникновения трудовых отношений. Наиболее подходящим является сменный режим рабочего времени. Сменный режим работ обеспечивает непрерывное поддержание требуемых параметров микроклимата в производственном помещении.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. При 12-часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, то есть при работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый. В течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут [53].

5.2 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных факторов, которые оказывают влияние на оператора, работающего за компьютером, проводился согласно ГОСТ 12.0.003-2015, результаты приведены в таблице 37 [54].

Таблица 37 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Освещенность на рабочем месте	+	+	+	Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [56]; Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 [58]; Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [59]; Электромагнитные поля в производственных условиях СанПиН 2.2.4.1191-03 [60]; Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ Р 12.1.019-2017 [62];
2. Микроклимат на рабочем месте	+	+	+	
3. Уровень шума на рабочем месте	+		+	
4. Уровень электромагнитных излучений на рабочем месте	+	+	+	
5. Поражение электрическим током	+		+	

Рассмотрим мероприятия по снижению уровня влияния возможных опасных и вредных факторов.

5.2.1 Освещенность на рабочем месте

Освещение рабочего места оператора является особенно важным. Недостаточное освещение является вредным фактором, который приводит к ухудшению зрения и вызывает утомление, поэтому освещение должно быть таким, чтобы работник мог выполнять свою работу без напряжения. Показатели

естественного, искусственного и совместного освещения указаны в таблице 38.

Таблица 38 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		освещенность, лк			показатель диска фотометра M_n , не более	коэффициент пульсации освещенности, Кп, % не более
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении	при общем освещении	от общего		
Помещения для работы с дисплеями и видео терминалами, залы ЭВМ	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400	15	10
		–	–	–	–	–	–	200	–	–

Из показателей видно, что освещенность рабочего места должна составлять (200 – 400) лк при общем освещении, а коэффициент естественного освещения (КЕО) должен быть не ниже 1,2 %.

В помещении используется комбинированное освещение. Произведем расчёты естественного и искусственного освещения согласно СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение» [55].

Операторная имеет размеры $4 \times 5 \times 2,5$ м, в которой установлено 2 окна размером $1,6 \times 1,8$ м. Освещение является боковым, односторонним.

Рассчитаем эквивалентную площадь световых проемов $S_{\text{экв}}$ по формуле:

$$S_{\text{экв}} = N \cdot S_{\text{окна}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 1,8 = 5,76 \text{ м}^2, \quad (95)$$

где N – количество окон, штук;

$S_{\text{окна}}$ – площадь окна, м^2 .

Вычислим площадь помещения S по формуле:

$$S = 4 \cdot 5 = 20 \text{ м}^2. \quad (96)$$

Для расчета коэффициента естественного освещения понадобятся следующие величины:

а) n_0 равная 9 – световая характеристика окна, зависящая от глубины помещения, выступа окна и соотношения длин сторон;

б) $K_{зд}$ равная 1,2 – коэффициент, учитывающий уменьшение КЕО от затемнения противостоящим зданием;

в) r_1 равная 3 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от внутренних поверхностей;

г) t_0 – общий коэффициент светопропускания равен 0,27.

Рассчитаем коэффициент естественного освещения по формуле:

$$КЕО = \frac{S_{эkv} \cdot t_0 \cdot r_1 \cdot 100}{S \cdot n_0 \cdot K_{зд}} = \frac{5,76 \cdot 0,27 \cdot 3 \cdot 100}{20 \cdot 9 \cdot 1,2} = 2,16. \quad (97)$$

Получили, что КЕО соответствует нормам согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

В качестве источников искусственного освещения используются лампы ЛБ-40 в количестве N равное 8 штук. Световой поток лампы F равный 2800 лм. Коэффициент запаса k равный 1,5, данный коэффициент учитывает запыленность светильников. Коэффициент z равный 1,1, этот коэффициент отражает неравномерность освещения.

Рассчитаем индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{S}{(h - h_c - h_{p.п}) \cdot (a + b)}, \quad (98)$$

где S – площадь помещения;

a и b – длина и ширина помещения;

h – высота помещения;

h_c равно 0,2 м – расстояние от перекрытия до светильника;

$h_{p.п}$ равно 0,8 м – расстояние от пола до рабочей поверхности.

Индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(h - h_c - h_{p.п}) \cdot (a + b)} = \frac{20}{(2,5 - 0,2 - 0,8) \cdot (4 + 5)} = 1,48. \quad (99)$$

По соответствующей таблице [39] определяем коэффициент использования светового потока (исходя из индекса помещения) n равен 0,55.

Вычислим освещенность по формуле:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n}{S \cdot z \cdot k} = \frac{2800 \cdot 8 \cdot 0,55}{20 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 373,3 \text{ лк.} \quad (100)$$

Используемая система искусственного освещения удовлетворяет нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [56].

5.2.2 Микроклимат на рабочем месте

Микроклимат помещения – это комплекс физических факторов внутренней среды помещения, которые оказывают влияние на здоровье человека [57].

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 показателями, характеризующими микроклимат в помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Следует отметить что работа оператора относится к категории легких работ (1а). Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 для категории работа (1а) отражены в таблицах 39, 40 [58].

Таблица 39 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22 - 24)	(21 - 25)	(60 - 40)	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(23 - 25)	(22 - 26)	(60 - 40)	0,1

Таблица 40 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категории работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	(20,0 - 21,9)	(24,1 - 25,0)	(19,0 - 26,0)	(15 - 75)	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(21,0 - 22,9)	(25,1 - 28,0)	(20,0 - 29,0)	(15 - 75)	0,1	0,2

Для поддержания параметров микроклимата в диапазоне оптимальных на рабочем месте применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, увлажнения и осушение воздуха, отопление помещения.

5.2.3 Уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте оператор может быть подвергнут вредному производственному фактору – шуму. Источниками шума являются: осветительные приборы, кондиционер, вентиляция и ПК. Шум оказывает влияние на органы слуха, а также на всю нервную систему, тем самым ослабляя внимание работника. Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 приведены в таблице 41 [59].

Таблица 41 – Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

В качестве средств коллективной защиты можно применять: звукопоглощающие материалы, звукоизоляцию, акустические экраны.

В качестве средств индивидуальной защиты работник может использовать специальные противошумные наушники.

Одним из самых простых и действенных способов облегчения работы, является отдых, поэтому целесообразно устраивать кратковременные перерывы в течение рабочего дня при отсутствующих источниках шума.

5.2.4 Уровень электромагнитных излучений на рабочем месте

В нашем случае основным источником электромагнитных излучений является дисплей компьютера. Рассмотрим нормы напряженностей магнитного и электрического полей согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 (таблица 42).

Таблица 42 – Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0-10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
61-480	8	10	12	15

Предельно допустимый уровень напряженности электрического поля 50 Гц на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженностях в интервале от 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в электрическом поле (час) рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (101)$$

где E - напряженность электрического поля в контролируемой зоне, кВ/м;

T - допустимое время пребывания в электрическом поле при соответствующем уровне напряженности, час.

При напряженности от 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в электрическом поле составляет 10 мин. Пребывание в электрическом поле с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается [60].

Рассмотрим уровни электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПЭВМ. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 указаны в таблице 43 [61].

В качестве защиты от вредного воздействия электромагнитных полей предлагаются следующие коллективные средства:

Таблица 43 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот (5 – 2000) Гц	25 В/м
	в диапазоне частот (2 – 400) кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот (5 – 2000) Гц	250 нТл
	в диапазоне частот (2 – 400) кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

- регламентированные перерывы;
- применение экранов и фильтров;
- увеличение расстояния от источника излучения.

В качестве индивидуальной защиты можно использовать спецодежду.

5.2.5 Поражение электрическим током

Рабочее помещение, где установлены персональные компьютеры, относится к помещениям без повышенной опасности, однако существует опасность поражения электрическим током в случае неисправности изоляции проводов и повреждении корпуса системного блока.

Мероприятия по снижению риска поражения электрическим током приняты на основе ГОСТ Р 12.1.019-2017.

Одним из важных мероприятий для обеспечения безопасности является заземление оборудования, путем подключение заземляющего проводника к общей шине заземления.

Организационные мероприятия для защиты от поражения электрическим током:

- перед началом работы оператор должен убедиться в отсутствии висящих проводов, в целостности провода питания, а также в отсутствии видимых токоведущих частей;

- оператору запрещается прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании;

- оператору запрещается самостоятельное вскрытие и ремонт оборудования;

- все работы по устранению неисправностей должен проводить квалифицированный персонал с исправным инструментом;
- оператор должен не допускать попадание влаги на поверхность устройств [62].

5.3 Экологическая безопасность

В наше время проблема, связанная с загрязнением окружающей среды, становится глобальной. Для того чтобы жить в чистом и безопасном мире человечество должно совершенствовать существующие и разрабатывать новые технические средства защиты окружающей среды. На текущий момент техника и технологии позволяют сократить выбросы токсичных и вредных веществ, но для обеспечения чистоты в долгосрочной перспективе, люди должны создавать замкнутые, безотходные производства, а мусор и отходы должны подвергаться переработке.

В атмосфере внутри помещения и снаружи присутствуют вредные примеси, однако разрабатываемая система включает в себя вентиляцию, которая служит для фильтрации воздуха от примесей, что благоприятно сказывается на атмосфере как снаружи предприятия, так и внутри него. Однако на атмосферу будет оказывать влияние температура воздуха производственного помещения.

Проектируемая система оказывает вредное воздействие на гидросферу через системы обеспечения комфортного пребывания персонала на рабочем месте. Для снижения влияния этого воздействия рекомендуется устанавливать фильтры сточных вод. Наименьшее влияние на гидросферу будет оказывать система с замкнутым циклом водоснабжения.

Для сохранения литосферы рекомендуется отправлять непригодные для работы детали на утилизацию. В данном случае отходами будут являться части ПЭВМ, в частности электронные платы.

Электронные отходы представляют собой большую опасность для окружающей среды, надо помнить, что на производство персональных компьютеров уходят значительные доли золота, серебра и палладия, добываемых

ежегодно во всем мире. Следует отметить, что концентрация этих драгоценных металлов в печатных платах более чем в десять раз превышает их концентрацию в добываемой руде. Однако переработка печатных плат технологически сложный процесс из-за неоднородности материалов, ведь они состоят из множества разнородных компонентов.

Печатная плата является одним из наиболее важных компонентов электронного оборудования. Она представляет собой платформу, на которой устанавливаются и связываются между собой микроэлектронные компоненты, такие как полупроводниковые микросхемы и конденсаторы. Переработка плат включает в себя три типа обработки: предварительная обработка, физическая переработка и химическая переработка. Предварительная обработка включает в себя демонтаж многоразовых и токсичных элементов, измельчение или разделение. Затем следует физическая переработка. Потом материалы извлекают путем химического процесса переработки [63].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) бывают природного, техногенного, экологического и биолого-социального характера.

Природные ЧС связаны с проявлением стихийных сил природы: наводнения, землетрясения, бури, деятельность вулканов и т.д. Техногенные ЧС возникают в следствии ошибочных действий людей. К таковым относятся транспортные аварии, пожары и взрывы, аварии на промышленных объектах. Экологические связаны с аномальными изменениями биосферы и природной среды: опустынивание, загрязнение среды, разрушение озонового слоя, глобальное потепление и т.д. К биолого-социальным относятся распространение инфекционных заболеваний, терроризм, войны, поражением сельскохозяйственных растений, и т.д. [64].

Типичной ЧС на рабочем месте оператора является пожар. Помещения по взрывопожарной и пожарной опасности подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д.

Операторная относится к категории «В1-В4». Краткая характеристика категории приведена в таблице 44 [65].

Таблица 44 – Характеристика категории

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
В1 – В4 пожароопасные	Твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы

Причинами возгорания могут стать короткое замыкание и перегрузка электросети, поэтому необходим правильный монтаж электрической сети, а также соблюдение режима эксплуатации электрических приборов. Рассмотрим подробнее противопожарные мероприятия.

Организационные мероприятия:

- издание планов эвакуации, плакатов, инструкций;
- обучение персонала правилам противопожарной безопасности и контроль знаний;
- проведение противопожарного инструктажа персонала.

Эксплуатационные мероприятия:

- свободный проход к оборудованию;
- поддержание исправности изоляции проводников;
- соблюдение эксплуатационных норм.

Технические мероприятия:

- в помещении установлен углекислотный огнетушитель ОУ-8, на входной двери находится план эвакуации в случае пожара, а также на досягаемом расстоянии находится пожарный щит;
- световая индикация;
- звуковое оповещение в виде громкоговорителя;
- пассивные датчики задымленности;
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

В случае возникновения ЧС – пожар, необходимо действовать в соответствии со следующим распоряжением:

– убедиться в срабатывании системы пожаротушения, если по каким-то причинам система не сработала и не включила оповещение, включить ручную; если система не передала сигнал в службу пожаротушения, то сообщить по телефону 01;

– в случае отсутствия прямой угрозы здоровью и жизни произвести попытку самостоятельного тушения возгорания;

– при потере контроля над пожаром, необходимо эвакуироваться из здания в соответствии с планом эвакуации;

– ожидать приезда специалистов.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данной главе выпускной квалификационной работы были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, влияющие на здоровье оператора по поддержанию параметров микроклимата в помещении. Кроме этого, были рассмотрены нормативные документы, регулирующие воздействие данных факторов на оператора.

Были описаны обоснованные мероприятия по снижению уровня воздействия вредных факторов. Данные мероприятия позволят повысить работоспособность персонала, снизить утомляемость и причинение вреда здоровью.

Очистка сточных вод уменьшит влияние предприятия на гидросферу. Переработка отходов снизит вредные выбросы в окружающую среду и поспособствует переходу к замкнутому циклу производства.

Типичной чрезвычайной ситуацией на рабочем месте оператора является пожар. В разделе перечислены основные мероприятия, направленные на обеспечение безопасности персонала и имущества.

Заключение

В результате выполнения работы была разработана система управления параметрами микроклимата в производственном помещении. Были разработаны техническое задание, структурная схема и функциональные схемы автоматизации, позволяющие определить состав необходимого оборудования. Для автоматизации системы поддержания микроклимата, были выбраны необходимые датчики с цифровыми сигналами по интерфейсу RS-485 и аналоговыми выходными сигналами (4 – 20) мА. В качестве промышленного логического контроллера был выбран ОВЕН ПЛК 160. Исполнительные устройства: радиатор RifarAlp500x10, приточно-вытяжная установка Electrolux EPVS-200, теплообменник WNC 150*150-2, увлажнитель воздуха Par-Tuman ГТ-1,6, осушитель воздуха Par-Tuman РТ-60, клапан запорно-регулирующий КЗР 25ч945п и частотный преобразователь ESQ-210-2S-0.4К.

В данной работе была разработана схема внешних проводок, которая позволяет понять систему передачи сигналов от устройств нижнего уровня (полевого) на щит контрольно-измерительных приборов и автоматики и АРМ оператора. Для управления технологическим процессом были разработаны алгоритмы пуска/останова технологического оборудования. Разработана математическая модель системы и рассчитаны параметры настройки регулятора по методу Циглера-Никольса и автоматической настройки в пакете Matlab с последующей подстройкой параметров вручную. Провели анализ системы при внешнем воздействии температуры. Система обрабатывает возмущение и сохраняет значение температуры в помещении в пределах 5 % от уставки. Таким образом, система может применяться для регулирования и стабилизации параметров микроклимата в помещении. Использование трех узлов измерения в различных областях помещения предоставляет наиболее полную картину о параметрах микроклимата в помещении и тем самым повышает качество измерения. За счет регистрации и управления расходом сырья теплоносителя происходит его эффективное использование.

Список используемых источников

1. Автоматизированная система с точки зрения ГОСТ 34. Продолжение / М. Острогорский: сайт. 2008. – URL: <http://philosoft-services.com/gost34-asconcept2.zh.html> (дата обращения: 20.04.2021). – Текст: электронный.
2. Введение: сайт. – URL: <https://studfiles.net/preview/5672533/> (дата обращения: 20.04.2021). – Текст: электронный.
3. Интерфейс: сайт. – URL: <https://vuzlit.ru/1025500/interfeys> (дата обращения: 20.04.2021). – Текст: электронный.
4. Техническое задание: сайт. – URL: <https://studfiles.net/preview/5022556/> (дата обращения: 20.04.2021). – Текст: электронный.
5. Микроклимат производственных помещений. Терморегуляция. Влияние микроклимата на работоспособность человека: сайт. 2017. – URL: <https://cyberpedia.su/12x45f7.html> (дата обращения: 19.03.2021). – Текст: электронный.
6. Sciencedirect: научная электронная библиотека: сайт. – Швеция, 2021. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621000414> (дата обращения: 15.05.2021). – Текст: электронный.
7. Sciencedirect: научная электронная библиотека: сайт. – Малайзия, 2019. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340919308893> (дата обращения: 15.05.2021). – Текст: электронный.
8. ПЛК160 контроллер для средних систем автоматизации с AI/DI/DO/AO: сайт. – URL: <https://www.owen.ru/product/plk160> (дата обращения: 05.04.2021). – Текст: электронный.
9. Simatik market интернет-магазин техники автоматизации Siemens: сайт. – URL: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10000732/info> (дата обращения: 05.04.2021). – Текст: электронный.
10. DVP-SX2 Программируемые логические контроллеры Руководство по эксплуатации: сайт. – URL: https://www.delta-electronics.info/content/files/DVP-SX2_manual_rus.pdf (дата обращения: 05.04.2021). – Текст: электронный.

11. Термогигрометр ИВТМ-7/1-Щ-USB: сайт. – URL: https://novapribor.ru/catalog/temperatura_i_vlazhnost/termogigrometry/termogigrometr_ivtm_7_1_sh_ch_usb/#desc (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
12. Термогигрометр ИВТМ-7 Р-01-Т: сайт. – URL: https://novapribor.ru/catalog/temperatura_i_vlazhnost/termogigrometry/termogigrometr_ivtm_7_r_01_t/ (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
13. Термогигрометр СЕМ ДТ-625: сайт. – URL: https://novapribor.ru/catalog/temperatura_i_vlazhnost/termogigrometry/termogigrometr_cem_dt_625/ (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
14. Plantower G3 PMS3003 Лазер PM2.5 Датчик Модуль высокоточный детектор газового смога и пыли: сайт. – URL: <https://omsk.tiu.ru/p424953069-plantower-pms3003-lazer.html> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
15. RK300-02RS485 датчик концентрации пыли на выходе для PM2.5, PM1.0, PM 10: сайт. – URL: https://russian.alibaba.com/product-detail/rk300-02rs485-output-dust-concentration-sensor-for-pm2-5-pm1-0-pm-10-60843926576.html?spm=a2700.7724857.topad_classic.d_title.2c076822W2ddfV (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
16. Датчик пыли для лазерных частиц Plantower PMS9003M PM1.0 PM2.5 PM10 для качества воздуха: сайт. – URL: https://russian.alibaba.com/product-detail/plantower-pms9003m-pm1-0-pm2-5-pm-10-laser-particle-dust-sensor-for-air-quality-62173927469.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.2c076822W2ddfV (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
17. Вихревой расходомер ЭМИС-ВИХРЬ 200. Измерение расхода газа, пара, жидкости: сайт. – URL: https://emis-kip.ru/ru/prod/vihrevoj_rashodomer/#teh (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
18. Роторный счетчик ЭМИС-ДИО 230: сайт. – URL: https://emis-kip.ru/ru/prod/rotornyj_schetchik/#teh, (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

19. Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270: сайт. – URL: https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj_rashodomer/#teh (дата обращения: 9.04.2021). – Текст: электронный.
20. Датчик температуры воды накладной VSN-3: сайт. – URL: <https://novosibirsk.tiu.ru/p382461632-datchik-temperature-vody.html?&primelead=MjE> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
21. RTD-04-PIPE. Термодатчик двухпроводный накладной на трубопровод: сайт. – URL: <https://novosibirsk.tiu.ru/p266651147-rtd-pipe-termodatchik.html> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
22. Терморегулятор Eastec E-35 накладной с датчиком воздуха: сайт. – URL: <https://novosibirsk.tiu.ru/p389953868-termoregulyator-eastec-nakladnoj.html?&primelead=NQ> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
23. Поплавковый датчик уровня P35, прямой: сайт. – URL: https://3drob.ru/datchiki_i_sensory/klimaticheskie/poplavkovyy_datchik_urovnya_vody_p35_pryamoj?ymclid=16209896560813827025000023 (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
24. Радиатор биметаллический Rifar Alp 500 x10: сайт. – URL: <https://market.yandex.ru/product--radiator-bimetallicheskii-rifar-alp-500-x10/12644001/spec?track=tabs> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
25. Радиатор биметаллический Royal Thermo BiLiner 500 x10: сайт. – URL: <https://market.yandex.ru/product--radiator-bimetallicheskii-royal-thermo-biliner-500-x10/12709184/spec?сра=0&track=tabs> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
26. Радиатор стальной КЗТО РС 1-1000 412: сайт. – URL: <https://market.yandex.ru/product--radiator-stalnoi-kzto-rs-1-1000-412/12659971/spec?track=char> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
27. Установка приточно-вытяжная Electrolux EPVS-200: сайт. – URL: https://www.rusklimat.ru/tomsk/product-ustanovka_pritочно_vytyazhnaya_electrolux_epvs_200/ (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.

28. Фазовый регулятор напряжения цифровой 220В, 4000 Вт: сайт. – URL: [https://kulibin.su/catalog/avtomatika/regulatory-napryazheniya-oborotov/ac 220 v/pwm-na-4kv.html?r1=yandext&r2=&ymclid=16215885550580 434298600009](https://kulibin.su/catalog/avtomatika/regulatory-napryazheniya-oborotov/ac-220v/pwm-na-4kv.html?r1=yandext&r2=&ymclid=16215885550580_434298600009) (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
29. Водяной охладитель для прямоугольных каналов WHR-W 400*200-3: сайт. – URL: https://www.rusklimat.ru/tomsk/product-vodyanoy_okhladitel_dlya_pryamougolnykh_kanalov_whr_w_400_200_3/ (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
30. Водяной нагреватель WHC 400*400-2: сайт. – URL: https://www.Rusklimat.ru/tomsk/product-vodyanoy_nagrevatel_whc_400_400_2/ (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
31. Водяной нагреватель WHC 150*150-2: сайт. – URL: https://www.Rusklimat.ru/tomsk/product-vodyanoy_nagrevatel_whc_150_150_2/ (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
32. Ультразвуковой увлажнитель воздуха ГТ-1,6 настенный - для офиса, лабораторий и больших помещений: сайт. – URL: [https://par-tuman.ru/uvlazh nitel-dlia-ofisa?Itemid=118](https://par-tuman.ru/uvlazhnitel-dlia-ofisa?Itemid=118) (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
33. Сохра Ф3: сайт. – URL: <https://mircli.ru/sohra-f3/> (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
34. Par-Tuman ГТ-5,0: сайт. – URL: <https://mircli.ru/Par-Tuman-gt-5,0/> (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
35. Par-Tuman PT-60: сайт. – URL: <https://mircli.ru/Par-Tuman-PT-60/> – дата обращения: 27.04.2021.
36. Диммер SR-2006 (12-36V, 96-288W, 1-10V, 1CH) (arlight, IP20 Пластик, 3 года): сайт. – URL: <https://arlight.ru/catalog/product/dimmer-sr-2006-12-36v-96-288w-1-10v-1ch-arlight-ip20-plastik-3-goda-014168/> (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.

37. Клапан запорно-регулирующий КЗР 25ч945п Ду15 Ру16 ST2 mini: сайт. – Москва, – URL: https://dn.ru/regulyator/reguliruiushchii-klapan/kzr/25ch945p/dn15?display_id=157 (дата обращения: 01.05.2021). – Текст: электронный.
38. Частотные преобразователи: сайт. – Режим доступа: [https://nsk.Elcomspb.ru/katalog/invertors/frequency_converters/?filter=true&cost_slider=0,61419&price=0,61419&attribute_115\[0\]=0.4](https://nsk.Elcomspb.ru/katalog/invertors/frequency_converters/?filter=true&cost_slider=0,61419&price=0,61419&attribute_115[0]=0.4) (дата обращения: 01.05.2021). – Текст: электронный.
39. Кабель контрольный КВВГЭнг: сайт. – URL: <https://elektrika-ok.ru/tovary/elektricheskij-kabel/kabel-kontrolnyj-kvvgeng> (дата обращения: 12.05.2021). – Текст: электронный.
40. Динамические свойства асинхронных исполнительных двигателей: сайт. – URL: https://toehelp.ru/theory/electromach/lecture_18.html (дата обращения: 12.05.2021). – Текст: электронный.
41. Расчет расхода теплоносителя: сайт. – URL: https://tem-sv.ru/base_knowledge/proect/calculators.php (дата обращения: 9.05.2021). – Текст: электронный.
42. Ханнанова В. Н. Математическая модель системы регулирования температуры внутри помещения: сайт. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematiceskaya-model-sistemy-regulirovaniya-temperatury-vnutri-pomescheniya/viewer> (дата обращения: 12.05.2021). – Текст: электронный.
43. Сколько граммов воды содержится в 1 кубическом метре воздуха при различных температурах: сайт. – URL: <https://airwet.ru/skolko-vody-v-grammah-v-1-m3/> (дата обращения: 12.05.2021). – Текст: электронный.
44. Васильев, К. А. Моделирование системы кондиционирования воздуха на участках механической обработки композитных материалов судостроительного производства: статья / К. А. Васильев. – Москва: Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2016. – 129 с.
45. Вадутов, О. С. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера-Никольса: статья / О. С. Вадутов. – Томск: ТПУ, 2014.

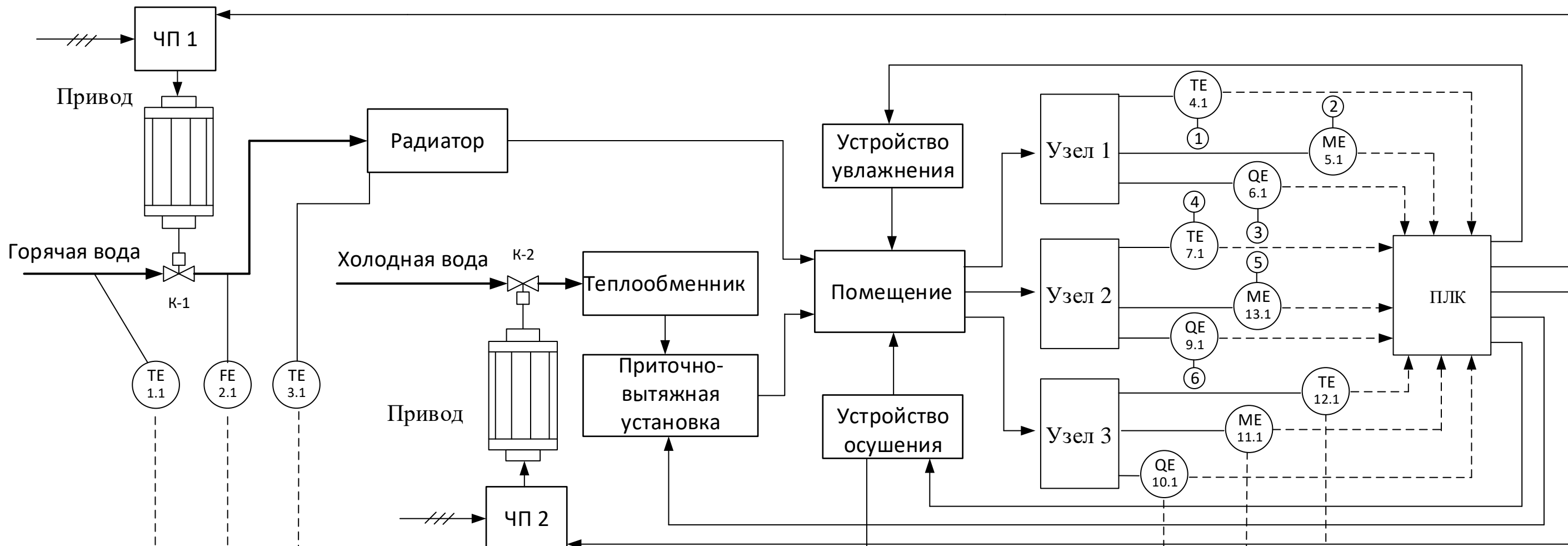
46. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: сайт. – URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DVR/academic/Образец%20раздела%20ФММРР%20Специал.pdf> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст: электронный.
47. Районный коэффициент в Томске: сайт. – URL: <https://plusfinance.ru/pokazateli/rajonnyj-koeffitsient/tomsk/> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст: электронный.
48. Ставки страховых взносов в 2021 году: таблица с изменениями: сайт. – URL: <https://www.26-2.ru/art/355169-vse-stavki-strahovyh-vznosov-2021> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
49. Система управления климатом теплицы: сайт. – URL: https://owen.ru/project/greenhouse_climate_control_system (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
50. Технологии микроклимата: сайт. – URL: <https://climate-technology.ru/proektirovanie> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
51. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/31970> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
52. Организация рабочего места при работе за компьютером: сайт. – URL: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/organizaciya-raboty-za-kompyuterom.html> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст: электронный.
53. Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации: [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года]. – Москва, 2021. – 205 с.
54. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные факторы. Классификация: дата введения 2017-01-03. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62075> (дата обращения: 15.04.2021). – Текст: электронный.

55. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение: дата введения 1995-02-08. – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/1898> (дата обращения: 15.04.2021). – Текст: электронный.
56. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: дата введения 2003-08-04. – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/11776> (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
57. Понятие «микроклимат». Комплексное действие физических факторов окружающей среды на организм. Методы оценки: сайт. – URL: <https://megaobuchalka.ru/10/25585.html> (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.
58. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы: дата введения 1996-01-10. – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/5225> (дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.
59. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: дата введения 1996-31-10. – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/5212> (дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.
60. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях: дата введения 2003-19-02. – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/39144> (дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.
61. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: дата введения 2003-13-06. – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/39082> (дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.
62. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты:

- дата введения 2019-01-01. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/70055/>
(дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.
63. Как осуществляется переработка электроники: сайт. – URL: <https://nature-time.ru/2015/03/kak-osushhestvlyaetsya-pererabotka-elektroniki> (дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.
64. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: дата введения 2003-01-08. – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/11705> (дата обращения: 14.05.2021). – Текст: электронный.

Приложение А
(обязательное)

Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013

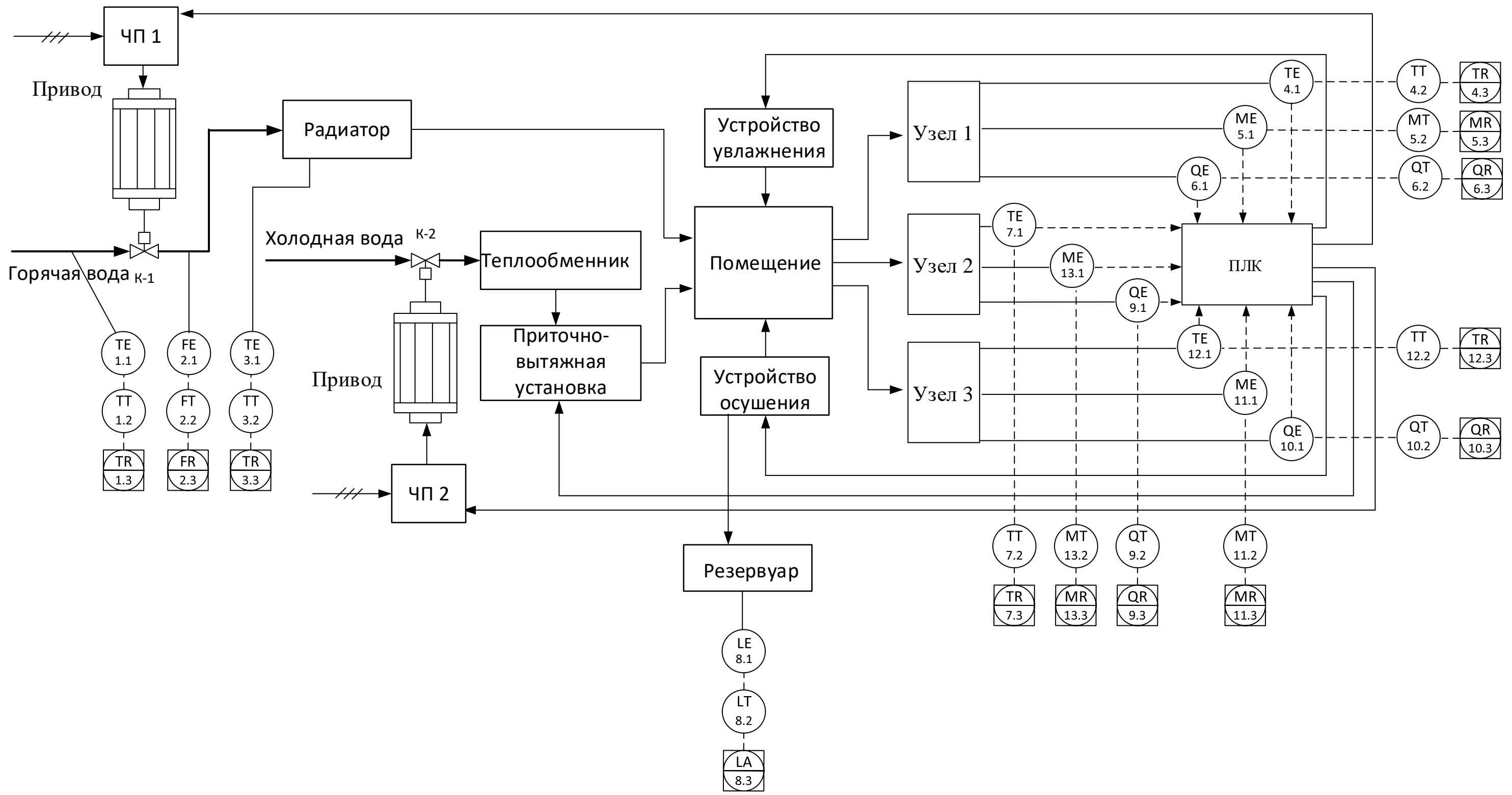


	Температура горячей воды, °С	Расход горячей воды, м ³ /ч	Температура радиатора, °С	Температура воздуха в узле 1, °С	Влажность воздуха в узле 1, %	Концентрация пыли в воздухе в узле 1, мг/м ³	Температура воздуха в узле 2, °С	Уровень воды, м	Концентрация пыли в воздухе в узле 2, мг/м ³	Концентрация пыли в воздухе в узле 3, мг/м ³	Влажность воздуха в узле 3, %	Температура воздуха в узле 3, °С	Влажность воздуха в узле 2, %											
По месту	ТТ 1.2	FT 2.2	ТТ 3.2	ТТ 4.2	MT 5.2	QT 6.2	ТТ 7.2	LT 8.2	QT 9.2	QT 10.2	MT 11.2	ТТ 12.2	MT 13.2											
Щит оператора	TR 1.3	FR 2.3	TR 3.3	TRCA 4.3	HL1	MRCA 5.3	HL2	ORCA 6.3	HL3	TRCA 7.3	HL4	LA 8.3	HL5	ORCA 9.3	HL6	ORCA 10.3	HL7	MRCA 11.3	HL8	TRCA 12.3	HL9	MRCA 13.3	HL10	
SCADA	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление	измерение	сигнализация	управление

					ФЮРА.425280.005.01					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения			Лиг.	Масса	Масштаб
Разраб.	Афанасьев А. А.							у		
Провер.	Худогонова Л. И.									
Т.контроль								Лист	Листов	
Н.контроль					Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013			ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8ТМ92		
Утв.										

Приложение Б
(обязательное)

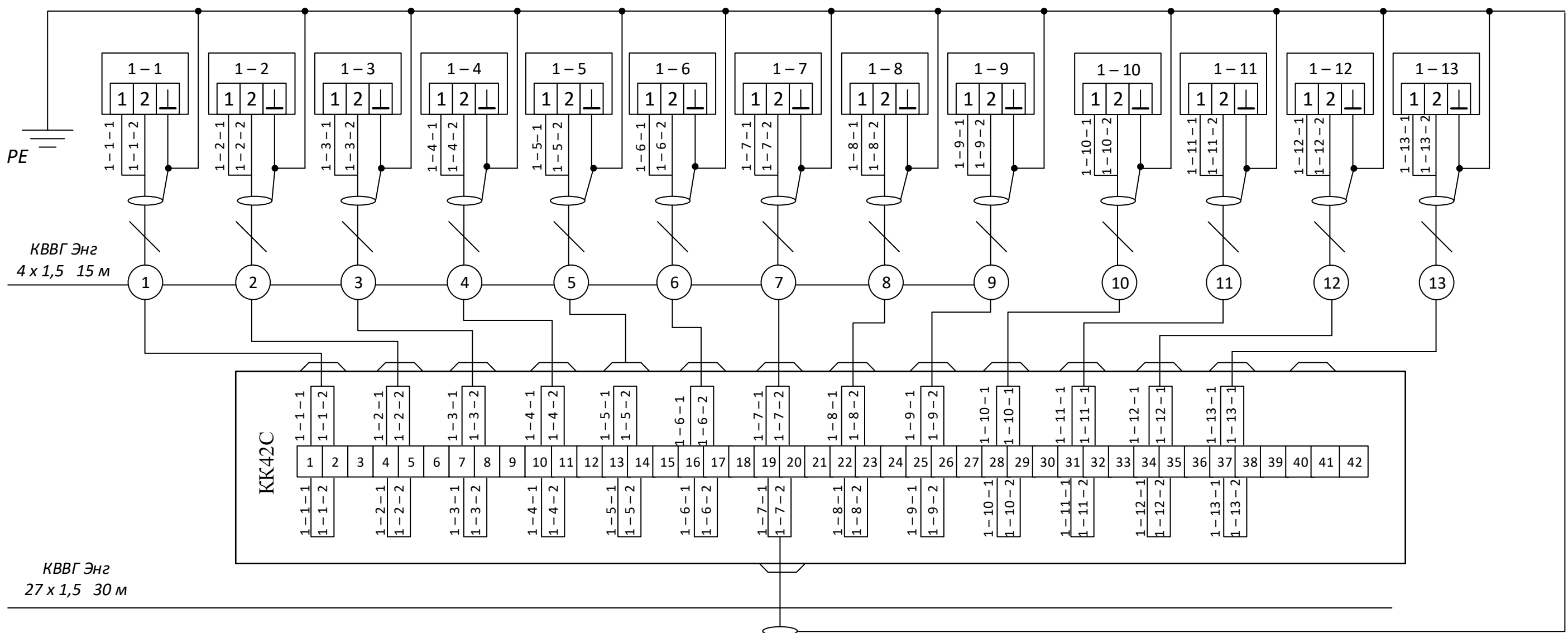
Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-S5.1-2009



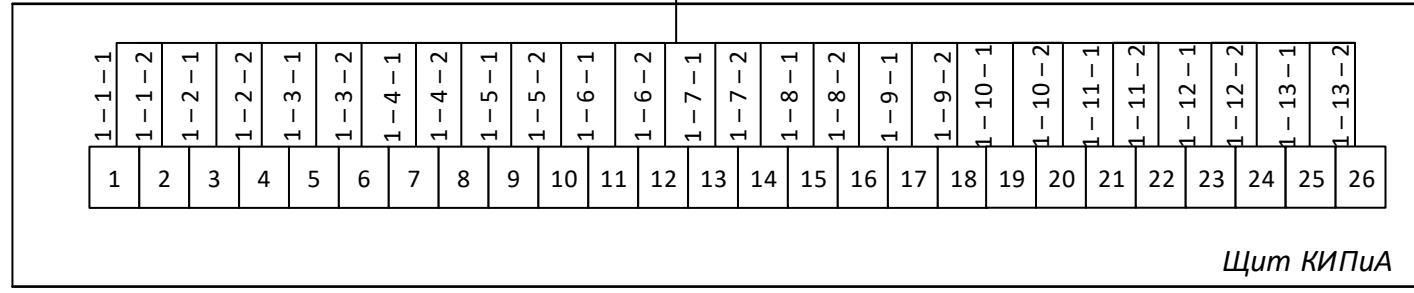
					ФЮРА.425280.005.02			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения	Лиг.	Масса	Масштаб
Разраб.		Афанасьев А. А.				у		
Провер.		Худоногова Л. И.						
Т. контроль						Лист	Листов	
Н. контроль					Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-S 5.1-2009			ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8ТМ92
Утв.								

Приложение В
(обязательное)
Схема внешних проводок

Наименование параметра	Температура			Влажность			Концентрация твердых веществ в воздухе			Расход	Температура		Уровень
	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Радиатор	Трубопровод	Радиатор	Резервуар
Место отбора импульса													
Тип датчика	ИВТМ-7/1-Щ	ИВТМ-7/1-Щ	ИВТМ-7/1-Щ	ИВТМ-7/1-Щ	ИВТМ-7/1-Щ	ИВТМ-7/1-Щ	RK300-02RS485	RK300-02RS485	RK300-02RS485	ЭМИС-МАГ 270	RTD-04-PIPE	RTD-04-PIPE	Р35 прямой
Позиция	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13



КВВГ Энг
27 x 1,5 30 м



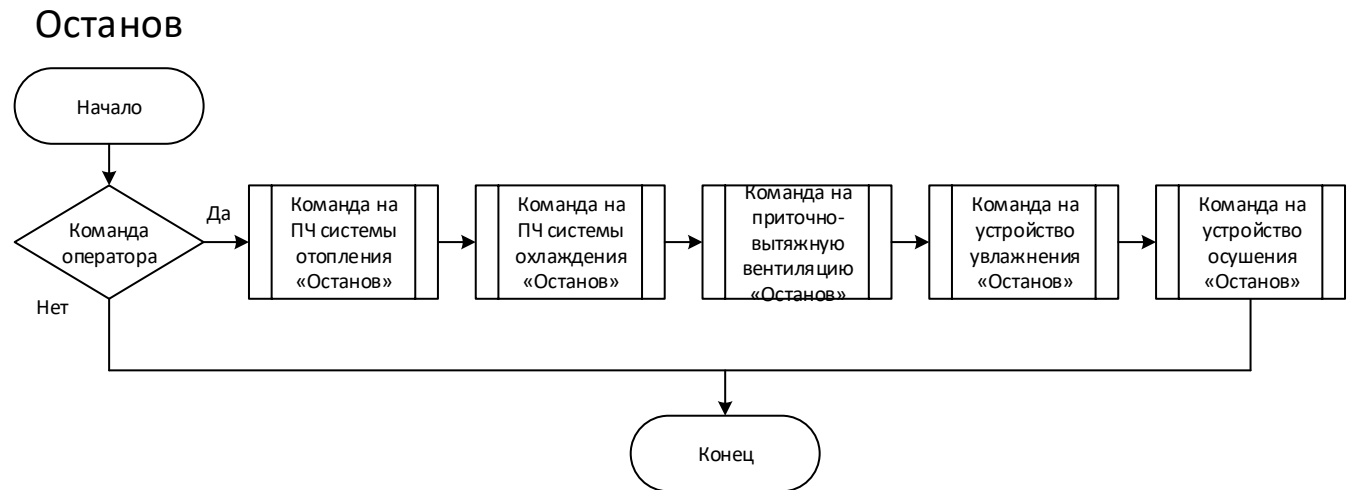
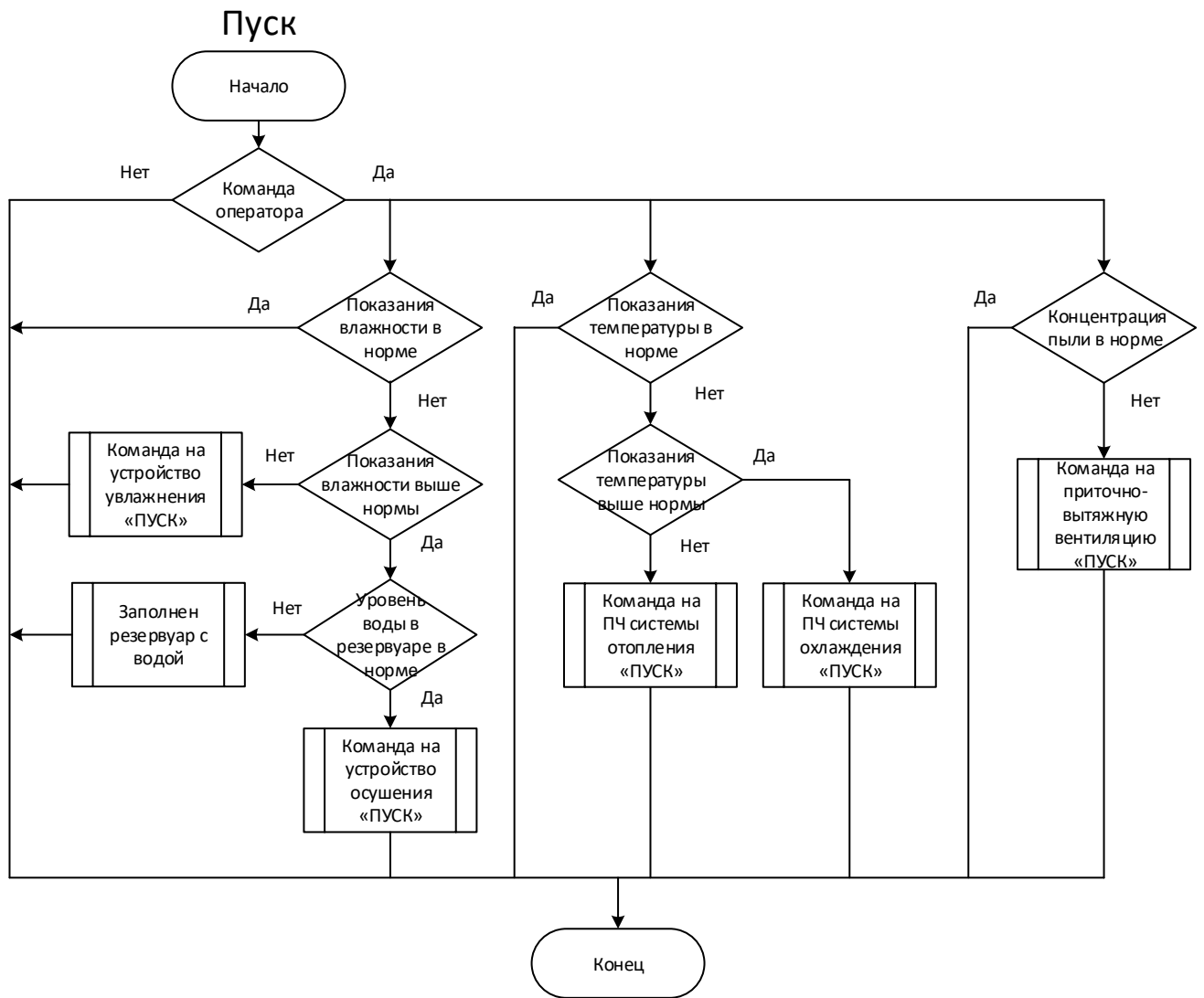
Щит КИПиА

					ФЮРА.425280.005.03			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Афанасьев А. А.					у		
Провер.	Худоногова Л. И.							
Т.контроль						Лист	Листов	
Н.контроль					Схема внешних проводов			
Утв.								ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8ТМ92

Приложение Г

(обязательное)

Блок схема алгоритмов пуска / останова



					ФЮРА.425280.005.04				
					Разработка автоматизированной системы управления параметрами микроклимата производственного помещения Блок – схема алгоритмов пуска / останова	Лит.	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		У			
Разраб.		Афанасьев А. А.							
Провер.		Худогонова Л. И.							
Т.контроль							Лист	Листов	
Н.контроль					ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8ТМ92				
Утв.									

**Приложение Д
(обязательное)
Экранная форма**

ВКЛ **ВЫКЛ**

Сигнализация аварийных ситуаций

Состояние устройств

Уровень воды в резервуаре в норме

Датчики температуры исправны

Датчики влажности исправны

Работа датчика пыли № 2 нарушена

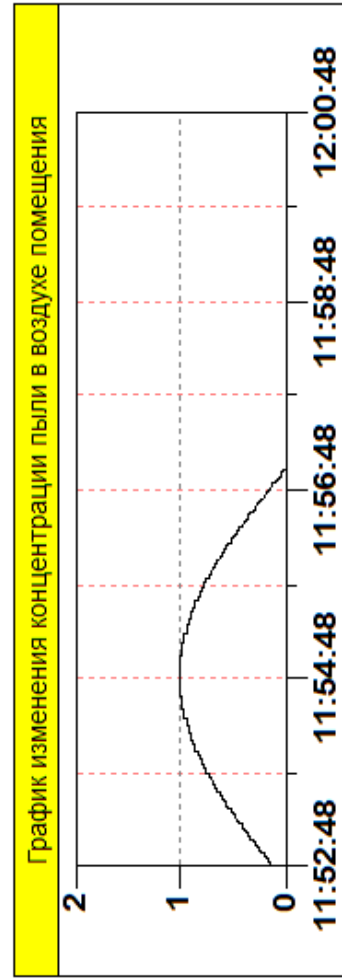
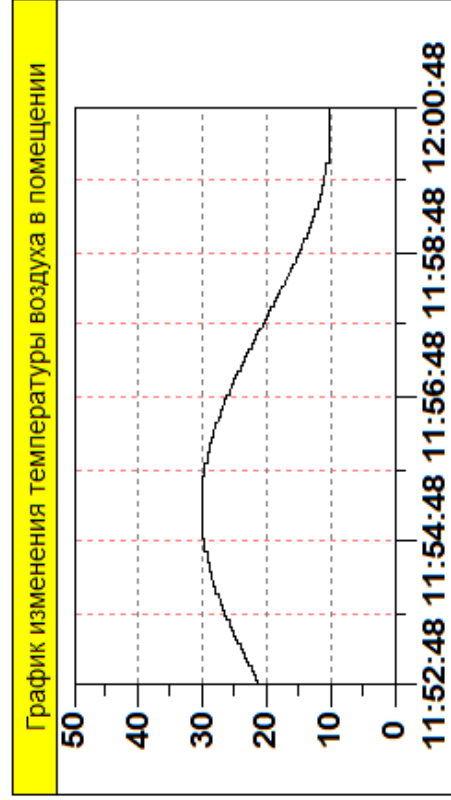
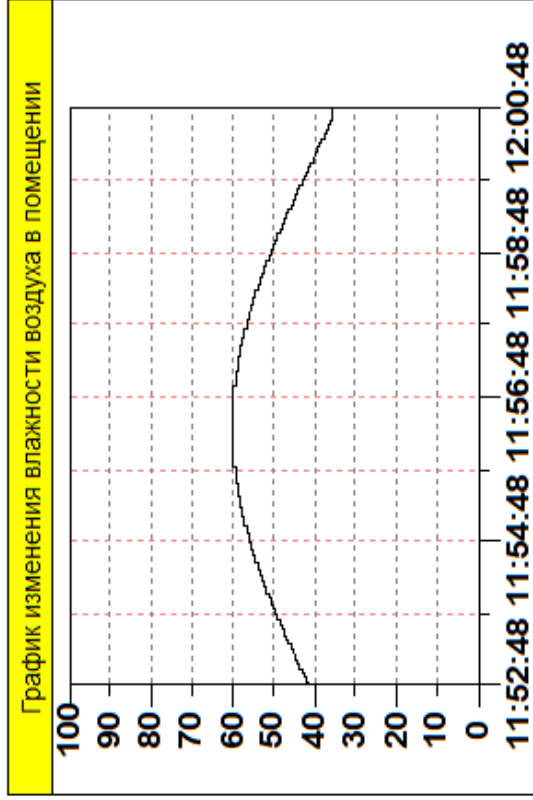
Устройство увлажнения

Устройство осушения

Вентиляция

Показания работы системы

Объем теплоносителя, м3	4.8e-002
Открытие клапана радиатора, %	40
Открытие клапана теплообменника, %	10



Приложение Е
(справочное)

Mathematical model of the system

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Афанасьев Андрей Анатольевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Л. И.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Т. В.	к.п.н.		

3.6.3.1 Mathematical model of the system

The automatic control circuit consists of: setting devices(setpoints), PLC (which implements the functions of the PID controller), frequency converters, gear motors, rods, valves, radiator, heat exchanger, supply and exhaust ventilation, humidification device, dehumidification device, voltage regulators, control object (production room), dust, temperature and humidity sensors (feedback).

The operator sets the temperature, humidity, and concentration of solid particles in the air to be maintained in the room. The entered temperature value is fed to the PLC, where it is compared with the current temperature value obtained from the sensors. Then the output signal is generated. This signal is sent to the frequency converters to set the required speed of the hot and cold water valve gear motor. Also the entered values of humidity and dust concentration are sent to the controller to generate a signal to the fan supply voltage regulator of ventilation, humidification and dehumidification devices.

Consider the transfer functions of the links included in this model.

Frequency converters form the frequencies for the gear motors, so their transfer functions will be determined by the conversion coefficients. Since the frequency converter transmits the frequency value over a digital channel, its transfer function will be:

$$W_{fc1} = W_{fc2} = \frac{f_{out}}{f_{in}} = \frac{50 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 1, \quad (1)$$

where W_{fc1} and W_{fc2} – are the transfer functions of the frequency converters;

f_{out} – output frequency of the frequency converter, Hz ;

f_{in} – input frequency of the frequency converter, Hz .

The transfer functions of the gear motors are described by an aperiodic link of the first order:

$$W_{gm1} = W_{gm2} = \frac{k_{gm}}{T_{gm} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

where W_{gm1} and W_{gm2} – are the transfer functions of the gear motors;

k_{gm} – transmission coefficient of the gear motor, $r/s \cdot Hz$;

T_{gm} – gear motor time constant, s ;

s – transfer function operator.

The required characteristics of the gear motors are given in Table 18.

Table 18 Characteristics of gear motors

Characteristic	Value
Working stroke, l	10 mm
Control speed, v_{gm}	30 mm/m
Closing time, t_{gm}	20 s

The transmission coefficient of gear motors is defined as the ratio of the angular velocity v_{gm} to the frequency of the converter f :

$$k_{gm} = \frac{v_{gm}}{f} = \frac{30}{50} = 0,6 \text{ mm}/(m \cdot \text{Hz}). \quad (3)$$

The electromechanical time constant of asynchronous executive motors for power supply from 50 Hz corresponds to (0,2 – 1) s.

Let's take the time constant of the gear motor T_{gm} equal to 0,5 s. We get the gear motor transfer function:

$$W_{gm1} = W_{gm2} = \frac{0,6}{0,5 \cdot s + 1}. \quad (4)$$

The stem is an integrating link:

$$W_{s1} = W_{s2} = \frac{1}{T_s \cdot s}, \quad (5)$$

where W_{s1} and W_{s2} – are the transfer functions of the stocks;

T_s – stock time constant, s .

The time constant of the rod is determined from the value of the time of the full stroke of the rod and is equal to 20 s. We get the transfer function of the rod:

$$W_{s1} = W_{s2} = \frac{1}{20 \cdot s}. \quad (6)$$

The valve 1 is described by an aperiodic link of the first order:

$$W_{v1} = \frac{k_{v1}}{T_{v1} \cdot s + 1}, \quad (7)$$

where W_{v1} – are the transfer function of the valve 1;

k_{v1} – transmission coefficient of the valve 1, l/mm ;

T_{v1} – valve 1 time constant, s .

The transfer coefficient of the valve 1 is defined as the ratio of the maximum volume of water in the radiator V_{max} to the stroke of the rod l :

$$k_{v1} = \frac{V_{max}}{l} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ l/mm}. \quad (8)$$

The time constant of the valve 1 is calculated as the ratio of the radiator filling volume V_{max} to the water flow in the pipe ($Q_w = 0,127 \text{ l/s}$):

$$T_{v1} = \frac{V_{max}}{Q_w} = \frac{2}{0,127} = 15,7 \text{ s}. \quad (9)$$

Then the transfer function of the valve is 1:

$$W_{v1} = \frac{0,2}{15,7 \cdot s + 1}. \quad (10)$$

The radiator is an aperiodic link:

$$W_r = \frac{k_r}{T_r \cdot s + 1}, \quad (11)$$

where W_r – are the transfer function of the radiator;

k_r – transmission coefficient of the radiator, l/mm ;

T_r – radiator time constant, s .

The heat transfer coefficient of the radiator is defined as the ratio of the heat transfer of the radiator α to the volume of the heat carrier V_{max} :

$$k_r = \frac{\alpha}{V_{max}} = \frac{1610}{2} = 805 \text{ w/l}. \quad (12)$$

The heating time of the radiator will take 900 s . Then the transfer function of the radiator is:

$$W_r = \frac{805}{900 \cdot s + 1}. \quad (13)$$

Since the room needs 15 radiators connected in parallel, the generalized transfer function of the radiator W_{r0} will be:

$$W_{r0} = \frac{12\,075}{900 \cdot s + 1}. \quad (14)$$

The valve 2 is described by an aperiodic link of the first order:

$$W_{v2} = \frac{k_{v2}}{T_{v2} \cdot s + 1}, \quad (15)$$

where W_{v2} – are the transfer function of the valve 2;

k_{v2} – transmission coefficient of the valve 2, $m^3/(h \cdot mm)$;

T_{v2} – valve 2 time constant, s.

The transfer coefficient of the valve 2 is defined as the ratio of the maximum water flow Q_{max} of the heat exchanger to the stroke of the rod l :

$$k_{v2} = \frac{Q_{max}}{l} = \frac{0,14}{10} = 0,014 m^3/(h \cdot mm). \quad (16)$$

The time constant of the valve 2, taking into account the volume of the heat exchanger V_T is equal to:

$$T_{v2} = \frac{V_T}{Q_{max}} = \frac{0,7}{0,14} = 5 s. \quad (17)$$

Then the transfer function of the valve 2 is:

$$W_{v2} = \frac{0,014}{5 \cdot s + 1}. \quad (18)$$

The heat exchanger is an aperiodic link:

$$W_{he} = \frac{k_{he}}{T_{he} \cdot s + 1}, \quad (19)$$

where W_{he} – are the transfer function of the теплообменника;

k_{he} – transmission coefficient of the heat exchanger, $w \cdot h/m^3$;

T_{he} – heat exchanger time constant, s.

The heat exchanger transfer coefficient is defined as the ratio of heat transfer of the heat exchanger α_x to the water flow rate Q_{max} :

$$k_{he} = \frac{\alpha_x}{Q_{max}}. \quad (20)$$

Calculate the heat transfer of the heat exchanger from the formula:

$$Q_w = \frac{1000 \cdot \alpha_x}{(T_{in} - T_{out})}. \quad (21)$$

where Q_w – water consumption, m^3/h ;

α_x – heat transfer of the heat exchanger, $Gcal/h$;

T_{in} – water temperature at the heat exchanger inlet, $^{\circ}C$;

T_{out} – water temperature at the heat exchanger outlet, $^{\circ}C$.

Then the heat transfer is equal to:

$$\alpha_x = \frac{Q_w \cdot (T_{in} - T_{out})}{1000} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot (7 - 19) \cdot 10^6}{1000} = -3360 kcal/h = -3908 w. \quad (22)$$

The transfer coefficient of the heat exchanger is equal to:

$$k_{he} = \frac{\alpha_x}{Q_{max}} = \frac{-3908}{0,14} = -27\,914 \text{ w} \cdot \text{h}/\text{m}^3. \quad (23)$$

The cooling time of the heat exchanger will take 200 s. Then the transfer function of the heat exchanger is:

$$W_{he} = \frac{-27\,914}{200 \cdot s + 1}. \quad (24)$$

The temperature sensors transmit the value to the controller via a digital channel. The transfer function of the temperature sensor will look like the ratio of the measured temperature T_{meas} to the transmitted temperature from the sensor T_{ts} :

$$W_{ts} = \frac{T_{meas}}{T_{ts}} = \frac{90\text{ }^\circ\text{C}}{90\text{ }^\circ\text{C}} = 1, \quad (25)$$

where W_{ts} – are the transfer function of the temperature sensor.

The humidity sensors transmit the value to the controller via a digital channel. The transfer function of the humidity sensor will look like:

$$W_{hs} = \frac{f_{meas}}{f_{hs}} = \frac{100\%}{100\%} = 1, \quad (26)$$

where W_{dB} – are the transfer function of the humidity sensors;

f_{meas} – measured humidity value;

f_{hs} – humidity value from the humidity sensors.

The dust sensors transmit the value to the controller via a digital channel. The transfer function of the dust sensor will look like:

$$W_{ds} = \frac{Q_{meas}}{Q_{ds}} = \frac{1 \text{ g}/\text{m}^3}{1 \text{ g}/\text{m}^3} = 1, \quad (27)$$

where W_{ds} – are the transfer function of the dust sensors;

Q_{meas} – value of the measured dust concentration;

Q_{ds} – dust concentration value from the dust sensor.

The voltage regulator 1 is represented by an amplifying link:

$$W_{vr1} = k_{vr1}, \quad (28)$$

where W_{vr1} – are the transfer function of the voltage regulator 1;

k_{vr1} – transmission coefficient of the voltage regulator 1, v/v .

The transmission coefficient of the voltage regulator 1 is defined as the ratio of the output voltage from the regulator $U_{out\ 1}$ to the signal from the controller $U_{c\ 1}$:

$$W_{vr1} = \frac{U_{out1}}{U_{c1}} = \frac{220}{220} = 1. \quad (29)$$

The ventilation system is represented by an aperiodic link:

$$W_{vs} = \frac{k_{vs}}{T_{vs} \cdot s + 1}, \quad (30)$$

where W_{vs} – are the transfer function of the ventilation system;

k_{vs} – transmission coefficient of the ventilation system, $m^3/h \cdot v$;

T_{vs} – ventilation system time constant, s .

The ventilation transfer coefficient is defined as the ratio of the maximum air flow rate Q_{air} to the output voltage from the regulator U_{out1} :

$$k_B = \frac{Q_{air}}{U_{out1}} = \frac{205}{(220-85)} = 1,52 \text{ m}^3/h \cdot v. \quad (31)$$

The ventilation time constant is assumed to be equal to 0.8 s [40].

Then the ventilation system transfer function:

$$W_{vs} = \frac{1,52}{0,8 \cdot s + 1}. \quad (32)$$

The voltage regulator 2 and 3 are represented by an amplifying link:

$$W_{vr2} = W_{vr3} = k_{vr}, \quad (33)$$

where W_{vr2} and W_{vr3} – are the transfer functions of the voltage regulators 2 and 3;

k_{vr} – transmission coefficient of the voltage regulators 2 and 3, v/v .

The transmission coefficients of the voltage regulators 2 and 3 are defined as the ratio of the output voltage from the regulator U_{out2} to the signal from the controller U_{c2} :

$$W_{vr2} = W_{vr3} = \frac{U_{out2}}{U_{c2}} = \frac{36}{10} = 3,6. \quad (34)$$

The humidification device is represented by an aperiodic link:

$$W_{hd} = \frac{k_{hd}}{T_{hd} \cdot s + 1}, \quad (35)$$

where W_{hd} – are the transfer function of the humidification device;

k_{hd} – transmission coefficient of the humidification device, $g/(h \cdot v)$;

T_{hd} – humidification device time constant, s .

The transmission coefficient of the humidifier device is defined as the ratio of the performance of the humidifier device Q_{hd} to the output voltage from the regulator $U_{out 2}$:

$$k_{hd} = \frac{Q_{hd}}{U_{out 2}} = \frac{1600}{36} = 44,4 \text{ g}/(h \cdot v). \quad (36)$$

We will take the time constant of the humidification device to be 3 s. Then the transfer function of the humidification device:

$$W_{hd} = \frac{44,4}{3 \cdot s + 1}. \quad (37)$$

The dehumidification device is represented by an aperiodic link:

$$W_{dd} = \frac{k_{dd}}{T_{dd} \cdot s + 1}, \quad (38)$$

where W_{dd} – are the transfer function of the dehumidification device;

k_{dd} – transmission coefficient of the dehumidification device, $g/(h \cdot v)$;

T_{dd} – dehumidification device time constant, s.

The transfer coefficient of the dehumidifier device is defined as the ratio of the performance of the dehumidifier device Q_{dd} to the output voltage from the regulator:

$$k_{dd} = \frac{Q_{dd}}{U_{out 2}} = \frac{-2500}{36} = -69,4 \text{ g}/(h \cdot v). \quad (39)$$

The time constant of the dehumidification device is assumed to be 3 s. Then the transfer function of the dehumidification device:

$$W_{dd} = \frac{-69,4}{3 \cdot s + 1}. \quad (40)$$

We found the transfer functions of all the system elements, except for the regulators, and built a model of changes in the microclimate parameters.