

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматизация технологического процесса измерения и регулирования температуры в климатической камере КТК-3000

УДК 681.586:536.5:628.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Соложенко Антон Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Нина Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	Д.Т.Н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Соложенко Антону Владимировичу

Тема работы:

Автоматизация технологического процесса измерения и регулирования температуры в климатической камере КТК-3000	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.06.2017 №3827/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Литературные данные об устойчивости полимерных материалов к воздействию агрессивных сред, стандарты проведения испытаний, технические характеристики материалов, ГОСТы на соответствия требованиям.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников в области процессов старения полимерных материалов агрессивных средах 2. Разработка методики и плана-графика проведения испытаний 3. Подготовка образцов и проведение испытаний 4. Обработка и анализ результатов испытаний 5. Формулировка выводов по результатам работы
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Графики зависимостей относительного удлинения, предела прочности от времени старения в углеводородной жидкости</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.06.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н.		02.06.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Соложенко Антон Владимирович		02.06.2017

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

Студенту:

Группа 5ГЗБ	ФИО Соложенко Антону Владимировичу
----------------	---------------------------------------

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	15 % доплаты и надбавки; 12-15 % дополнительная заработная плата; 30% районный коэффициент; 16% накладные расходы; 20% амортизация
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 27.1 % от ФОТ на 2016 год

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта; - расчет сметы затрат: - материальные затраты; - оплата труда; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы; - амортизация.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка ресурсоэффективности	
2. Диаграмма Ганта	
3. Бюджет проекта	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.06.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Нина Васильевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Соложенко Антон Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Соложенко Антону Владимировичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Территория лаборатории с главным объектом рассмотрения исследования – климатическая камера КТК-3000. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</p> <p>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия (механического цеха).</p> <p>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус электрической машины при нарушенном его заземлении.</p>
<p>2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск»».</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>1.2. действие фактора на организм человека;</p> <p>1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p>	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <p>1. Шум</p> <p>2. Вибрации</p> <p>3. Недостаток естественного света</p> <p>4. Возможные ненормативные метеоусловия</p>
--	--

1.4.предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1.механические опасности (источники, средства защиты); 2.2.термические опасности (источники, средства защиты); 2.3.Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 2.4.Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов: 1.Опасность электропоражения; 2.Пожаровзрывоопасность.
3. Охрана окружающей среды: 3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	По п.3.1.:разработать или описать систему обращения с выбросами механического цеха. По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами. По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами цеха в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1.перечень возможных ЧС на объекте; 4.2.выбор наиболее типичных ЧС; 4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения. Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.
Перечень графического и инструктивного материалов:	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.06.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Соложенко Антон Владимирович		

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе был проведен обзор приборов для измерения и регулирования температуры, проведена модернизация системы управления климатической камеры КТК-3000, путем выбора программируемого регулятора температуры и влажности МПР 51 - Щ4.

Произведен расчет и выбор полугерметичного компрессора Bitzer 4FC-3.2Y-40S и ТЭНа 200D13/4T220.

Составлена функциональная схема САР температуры и произведено описание функциональных элементов данной схемы, также составлена структурная схема САР температуры и определены передаточные функции звеньев.

Произведено математическое описание объекта. Экспериментально в среде MathCAD была получена кривая разгона, по которой произведена идентификация объекта управления, описываемая передаточной функцией апериодического звена первого порядка.

Далее при моделировании в Simulink были собраны схемы САР температуры контура нагрева и охлаждения с ПИ-регулятором, параметры настройки которого рассчитаны методом оптимального модуля. Моделирование показало работоспособность этих схем и подтвердило выводы, сделанные ранее в среде *MathCAD*.

Рассмотрены вопросы охраны труда, техники безопасности и охраны окружающей среды.

Проведен экономический расчет, сетевое планирование технической разработки системы управления климатической установки КТК-3000 и расчёт затрат на его выполнение

Сделаны выводы по проделанной работе.

Annotation

In the given degree project the review of devices for measurement and regulations of temperature has been lead, modernization of a control system of climatic chamber KTK-3000, by a choice of a programmed regulator of temperature and humidity MPR 51 is lead.

Calculation and choice half compressor Bitzer 4FC-3.2Y-40S and heater 200D13/4T220 is made.

Function chart automatic of temperature is made and the description of functional elements of the given scheme is made, block diagram automatic of temperature also is made and transfer functions of parts are certain.

The mathematical description of object is made. Experimentally in MathCAD environment the curve of dispersal on which identification of object of the management is made, described by transfer function aperiodic a part of the first order has been received.

Further at modeling in Simulink schemes automatic of temperature of a contour of heating and cooling with the PI-regulator which parameters of adjustment are calculated by a method of the optimum module have been collected. Modeling has shown working capacity of these schemes and has confirmed the conclusions made earlier in MathCAD environment.

Questions of a labor safety, the safety precautions and preservation of the environment are considered.

Economic calculation, network planning of technical system engineering of management of climatic installation KTK-3000 and calculation of expenses for its performance is lead

Are drawn conclusions on the done work.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	13
1.1 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ	13
1.2 ТИПЫ ПОКАЗЫВАЮЩИХ И РЕГИСТРИРУЮЩИХ ПРИБОРОВ	13
1.3 ОБЗОР РЕГУЛЯТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ	13
1.4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ КТК-3000.....	15
1.4.1 Температурный режим.....	16
1.4.2 Режим кондиционирования.....	17
1.4.3 Режим охлаждения.....	17
1.4.4 Линия циркуляции хладагента - Цикл R404	17
1.4.5 Линия циркуляции хладагента - Цикл R23.....	19
1.5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ КТК-3000 И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ.	21
1.6 ВЫБОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ	23
1.7 УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРИБОРА МПР 51-Щ4.....	27
1.7.1 Блоки структурной схемы прибора.	28
1.7.2 Определение положения задвижки с помощью резистивного датчика.....	29
1.7.3 Вычисление влажности и разности температур камеры и испытываемого прибора.....	30
1.7.4 Коррекция показаний датчиков температуры	31
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	33
2.1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОГО АГРЕГАТА КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ КТК-3000:.....	33
2.2 ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДИЛЬНОГО АГРЕГАТА КЛИМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ 34	
2.2.1 Расчёт цикла.....	34
2.2.2 Термодинамическая эффективность машины:	36
2.3 ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ.....	37
2.4 ВЫБОР БЕСКОНТАКТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	55
2.5 АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРОЙ КТК-3000....	57
2.6 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА САР ТЕМПЕРАТУРЫ	58
2.7 ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ САР	60
2.7.1 Преобразователь напряжения ПН-ТТЕ-63	60
2.7.2 Датчик температуры ДТ-2-1	60
2.7.3 Преобразователь сопротивление-ток.....	61
2.8 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САР ТЕМПЕРАТУРЫ	62
2.8.1 Идентификация объекта управления	65

2.8.2	<i>Моделирование САР температуры по контуру нагрева</i>	70
2.8.3	<i>Моделирование САР температуры по контуру охлаждения</i>	71
2.9	МОДЕЛИРОВАНИЕ В MATLAB	73
2.9.1	<i>Структурные схемы контура нагрева и охлаждения</i>	74
3	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	79
3.1	АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	79
3.2	ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (ПРОЕКТА)	81
3.2.1	<i>Планирование проекта</i>	81
3.2.2	<i>Определение трудоемкости выполнения работ</i>	82
3.2.3	<i>Разработка графика Ганта</i>	83
3.3	БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	87
3.3.1	<i>Составление сметы затрат на разработку технического проекта</i>	87
3.3.2	<i>Определение материальных затрат</i>	87
3.3.3	<i>Определение заработной платы исполнителей проекта</i>	88
3.3.4	<i>Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)</i>	90
3.3.5	<i>Накладные расходы</i>	90
3.3.6	<i>Амортизация использования оборудования</i>	91
3.3.7	<i>Формирование сметы технического проекта</i>	91
4	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	92
4.1	ВВЕДЕНИЕ	92
4.2	АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ	92
4.2.1	<i>Шум</i>	93
4.2.2	<i>Вибрация</i>	94
4.2.3	<i>Недостаток естественного света</i>	95
4.2.4	<i>Микроклимат</i>	97
4.3	АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ	98
4.3.1	<i>Электропоражение</i>	98
4.3.2	<i>Загорание (пожар)</i>	99
4.4	ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	100
4.5	ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЧС И УСТРАНЕНИЕ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ	102
4.5.1	<i>Пожар (загорание) – как источник ЧС</i>	102
4.5.2	<i>Электропоражение как источник ЧС</i>	103
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	106
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	108
	ПРИЛОЖЕНИЯ	111
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	111
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	112
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	118

ВВЕДЕНИЕ

Широко известно, какие жёсткие требования предъявляются к материалам, применяющимся в современном производстве. От качества их изготовления зачастую зависит надёжность работы самых различных механизмов и, как следствие, здоровье и жизнь людей, экологическая обстановка, окупаемость вложенных средств. Важным этапом на пути к изготовлению материалов, обладающих необходимыми свойствами, является проведение в процессе разработки и производства испытаний образцов в жёстких условиях эксплуатации, позволяющих установить соответствие материала требованиям и выявить технологические недостатки.

Одним из наиболее значимых видов подобных испытаний является термоциклирование, позволяющее выявить нарушения в технологии производства материалов, а также прогнозировать их стойкость к температурным и климатическим воздействиям. Как известно, процесс изменения температуры материала происходит неравномерно. Большую роль здесь играет теплопроводность материала, неоднородность его структуры или химического состава. Возникающий при этом градиент температуры вызывает механические напряжения в образце, вследствие чего возможно возникновение микротрещин, фазовых переходов и других структурных изменений, по которым можно судить о характеристиках материала и его качестве.

Методика испытаний на термоциклирование достаточно проста. Испытуемый образец помещается в закрытый объём, температура в котором меняется по заданной программе в течение нескольких циклов. Как правило, один цикл включает в себя нагрев до определённой температуры с заданной скоростью, по окончании которого температура удерживается постоянной в течение некоторого времени. Далее следует участок охлаждения с заданной скоростью до определённой температуры, при которой материал снова выдерживается заданное время. В случае климатических испытаний к изменениям температуры добавляются и изменения влажности воздуха в объёме.

Для проведения подобных испытаний используются климатические камеры, включающие в себя, как правило, систему охлаждения, нагреватели и систему управления. Такие камеры находят своё применение, как для проведения научно-исследовательских работ, так и для испытания промышленных изделий.

Естественно, для обеспечения точности задаваемой программы испытаний и повторяемости их результатов качество такого аппаратно-программного комплекса должно быть на достаточно высоком уровне. Необходимо обеспечить надёжность и бесперебойность его работы, строгое соблюдение параметров испытаний, точную регистрацию результатов измерений и воспроизведение данных, а также возможность интеграции с другими автоматизированными системами предприятия [1-4].

В выпускной квалификационной работе необходимо автоматизировать систему управления климатической камеры КТК-3000, произведенными в ГДР. Камера успешно проработала в ПЗ «Сигнал», г. Обнинск более 15 лет и продолжала работать до сих пор, но устаревшая система контроля и управления камеры не обеспечивала необходимую точность соблюдения условий испытаний, не говоря уже о возможностях обработки полученных данных.

Было принято решение разработать систему управления «с нуля», заменив устаревшие платы аппаратной логики надёжным оборудованием, которое отвечало бы современным требованиям к измерительной и испытательной технике, но в то же время полностью сохранило бы прежнюю функциональность и особенности работы с механизмами управления. Функции формирования аварийных сигналов, сигналов защиты и управления исполнительными механизмами, выполнявшиеся ранее на аппаратном уровне, решено было реализовать программно.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Средства измерения температуры и влажности

- термометры стеклянные;
- термометры биметаллические и термоманометры;
- термометры манометрические;
- термометры цифровые, индикаторы температуры;
- пирометры, минипирометры;
- термометры сопротивления и термопары;
- нормирующие усилители;
- датчики-реле температуры манометрические;
- датчики-реле температуры дилатометрические;
- датчики-реле температуры биметаллические;
- регуляторы температуры и влажности электронные;
- регуляторы температуры и влажности микропроцессорные;

1.2 Типы показывающих и регистрирующих приборов

- позиционные и ПИД - регуляторы;
- программные регуляторы;
- самописцы механические;
- пишущие узлы для самописцев;
- электронные самописцы;
- программируемые логические контроллеры;
- модули ввода-вывода.

1.3 Обзор регуляторов температуры и влажности

Регуляторы "ОВЕН" ТРМ

На рынке представлена линейка одноканальных ТРМ1, ТРМ10 (ПИД), ТРМ101 (ПИД), ТРМ501 (с таймером), ТРМ502 (простой, без индикации), ТРМ201, двухканальных 2ТРМ0, 2ТРМ1, ТРМ200, ТРМ202, восьмиканальных ТРМ138, УКТ38 измерителей-регуляторов, ТРМ12 -ПИ для управления

клапанами, контроллеров отопления ТРМ32-Щ4, ТРМ33-Щ4, ТРМ133, 2-х канального ПИД регулятора ТРМ 151, программируемого по времени регулятора температуры и влажности МПР51-Щ4. Тип корпуса: щит Щ1 (96x96x70, IP54), Щ2 (96x48x100, IP20), Н – настенный (135x105x65, IP44), Д

Регуляторы "РегМик" РД

Все большую популярность приобретает продукция динамично развивающейся фирмы "РегМик". Линейка измерителей И1, И2, И4, И8, позиционных регуляторов РД1, РД2, РД4, РД8, ПИД-регуляторов РП1, РП2, РП4, РП8 по своей структуре и функциям конфигурирования напоминает "Овен", а в некоторых моделях и превосходит по возможностям аналогичные модели российского производителя. Особое внимание уделяется измерителям-регуляторам влажности и температуры РД2-ДВТ, работающие с датчиками цифрового и аналогового типов ДВТц, ДВТ, и многоканальные измерители-регуляторы И8, РД8, РП8.

Регуляторы ТРЦ - 02

Одни из самых популярных и дешевых регуляторов температуры ТРЦ 02 и влажности ТРЦ 02-В. Все модели имеют в качестве выходного устройства оптосимисторы. Подключение термосопротивлений по 2-х проводной схеме. При выборе ТРЦ 02, ТРЦ 02-В (кроме ТРЦ 02-Универсал) необходимо знать тип логики регулятора ("Прямой", "Инверсный").

Новинка ТРЦ 02 позволяет по двум входам и двум выходом конфигурировать различные структуры с П-, ПИ-, ПИД-, и позиционным законами. Наличие встроенного таймера расширяет диапазон и гибкость конфигурации. Для задач программно-временного управления используют модель ТРЦ- 02-П. Двенадцатиканальный ТРЦ 02-ТС-12 работает с датчиками ТСМ, ТСП.

Регуляторы "Микра" МИКРА - 600

Популярная модель МикРА - 600 - это ПИД - регулятор с оригинальным алгоритмом самонастройки, одним температурным входом и двумя симисторными выходами предназначен для управления как нагревателем (охладителем), так и реверсивными исполнительными механизмами, работающими в комплекте с регулируемыми клапанами.

МикРА - А10 - простой и дешевый двухпозиционный регулятор без индикации показаний. Подключение термосопротивлений по 2-х проводной схеме. Тип корпуса: (48 x 48 x105)

Регуляторы "AUTONICS"

Приборы "*Autonics*"-это европейское производство. ПИД - регуляторы имеют набор очень полезных потребительских функций: - быстрый/плавный выход на уставку; линейный подъем/снижение параметра; самонастройка на 70% уставки с дальнейшим оптимальным выходом на 100% уставки; переключение заданной уставки по состоянию дискретного входа (например, при открытии двери печи повышается заданная температура). Универсальный вход-это любой физический параметр (давление, уровень, температура, расход и т.д.). Простые позиционные регуляторы TDM (без индикации) не требуют настройки. Заслуживает внимания измеритель тока 4..20 мА M4NS-NA, работающий без источника питания [5-8].

1.4 Технологический процесс испытания приборов. Особенности работы климатической камеры КТК-3000

Два осевых вентилятора в задней стенке всасывают воздух в полезном пространстве и подают его через теплообменники и трубные радиаторы, а через перфорированные донные листы он поступает в полезное пространство, которое он протекает снизу вверх. В зависимости от режима работы охлаждение осуществляется непосредственным или посредственным

образом, нагрев непосредственным образом, осушка - посредственным образом, а увлажнение вдуванием водяного пара.

В агрегатном блоке, облицованном съемными вставными крышками, совмещены компрессоры, агрегат кондиционирования, парогенератор, арматура, регулирующие и предохранительные приборы, необходимые для поддержания температурного режима, режима охлаждения и кондиционирования, а также соединительные трубопроводы.

В электрическом блоке управления, который тоже представляет собой самостоятельную конструктивную единицу, находятся все электрические и электронные элементы, необходимые для работы камеры. Они хорошо доступны, если повернуть дверь кожуха с панелью управления. Управляющие контроллеры являются неотъемлемой частью системы управления и поддержания температуры.

1.4.1 Температурный режим

В температурном режиме циркулирующий воздух непосредственно охлаждают с помощью трубчатого радиатора 7 (смотри Схема расположения агрегата темперирования и кондиционирования) (АТК) 1 или нагревается электрическими ТЭНами конвекционного нагревателя. В измерительном зонде для климата под донным листом находятся датчики для регулирования и регистрации температуры. Второй датчик для регулирования температуры находится на отдельной арматуре, тоже под донным листом. Предохранитель от перегрева находится в камере там же. Установка аварийной температуры осуществляется оператором по лимбу устройства, находящегося на наружной панели камеры.

Если дается команда для охлаждения в пределах регулирования заданной температуры, то газообразный хладагент R404 всасывается герметичным компрессором и через воздушный конденсатор и фильтр поступает в испаритель 7 АТК и воздух в полезном пространстве охлаждается. Если температура воздуха в полезном пространстве

соответствует заданному значению, то компрессор кондиционирования переключается на байпас до момента превышения уставки по температуре. Таким образом, воздух в полезном пространстве больше не охлаждается. Только если температура воздуха в полезном пространстве ниже заданного значения включается конвекционный нагреватель (ТЭНы).

1.4.2 Режим кондиционирования

В режиме кондиционирования циркулирующий воздух охлаждается и осушается испарителем 8 АТК, и увлажняется путем подачи водяного пара из парогенератора ПГ1 в камеру.

1.4.3 Режим охлаждения

Технологический процесс описывается на основе Схемы агрегатов и трубопроводов (смотри Схема расположения агрегатов и трубопроводов). Цифры в скобках соответствуют нумерации агрегатов.

Холодильная установка работает на принципе каскада. Существуют две отдельные линии циркуляции хладагента. Одноступенчатый цикл R23 обеспечивает необходимую хладопроизводительность для охлаждения полезного пространства. Хладагент (R 23) принадлежит к так называемым хладагентам высокого давления, т. е. его давление кипения и при низкой температуре испарения сравнительно высоко. Если бы, однако, конденсация R23 осуществлялась традиционным способом, например, с помощью воды, получилось бы очень высокое давление конденсации. Поэтому охлаждается конденсатор для R23 с помощью отдельного холодильного цикла, в нашем случае с помощью одноступенчатого цикла R 404.

1.4.4 Линия циркуляции хладагента - Цикл R404

Путь хладагента в цикле R404 следующий: Одноступенчатый поршневой компрессор (1) всасывает перегретые пары R 404 и сжимает их до

давления в конденсаторе. Через нагнетательный трубопровод сжатые газы поступают в воздушный конденсатор для R404 (12). Здесь они охлаждаются и конденсируются в ресивере (7). Далее жидкий хладагент, идет через фильтр-осушитель (11), электромагнитный вентиль (10) и термостатический расширительный вентиль (ТРВ) (8) и поступает в испаритель-конденсатор (6) после чего возвращается в компрессор.

Фильтр-осушитель в состоянии удерживать твердые загрязнения и схватывать влажность, которая по возможности находится в линии циркуляции хладагента. Электромагнитный клапан (10) открывается приблизительно через 30 секунд после пуска компрессора (3). Закрывается, как только компрессор выключается. Этим предотвращают наполнение жидким хладагентом змеевика в испарителе-конденсаторе (6), который представляет собой испаритель для R404, во время простоя установки. В ресивере (7) хладагент расширяется от давления конденсации до давления всасывания.

От ресивера (7) до испарителя-конденсатора (6) Хладагент течет как смесь жидкости и газа.

В испарителе-конденсаторе (6) весь жидкий хладагент R404 испаряется и нагревается на несколько градусов выше температуры испарения, принадлежащей к существующему давлению всасывания. От испарителя-конденсатора (6) перегретый R404 вновь поступает в компрессор. Вся линия циркуляции R404 (сторона всасывания и сторона нагнетания) рассчитана для предельного рабочего давления 16 кгс/см^2 избыточного давления.

Линия 1 каскада так же имеет дополнительные вентиля (9,21), вентиля на кранах компрессора, манометр и сервисные штуцера для проведения технического обслуживания и ремонта

К компрессору также подключено реле давления для защиты от пониженного и повышенного давления.

1.4.5 Линия циркуляции хладагента - Цикл R23

Цикл R23 как и цикл R404 является одноступенчатым холодильным циклом. Однако, в связи с высокими давлениями, которые R23 может вызывать, и в связи с требованием регулирования температуры в полезном пространстве, в сравнении с «нормальными» одноступенчатыми холодильными циклами, требуются некоторые дополнительные приспособления. Путь хладагента в цикле R 23 следующий:

Одноступенчатый поршневой компрессор (2) всасывает перегретые пары R23 и сжимает их до давления в конденсаторе. Через нагнетательный трубопровод горячие сжатые газы поступают сначала в воздушный конденсатор (13), потом в маслоотделитель (18) и через фильтр осушитель (14) в испаритель–конденсатор (6).

Испаритель-конденсатор (6) выполнен как бак с полым кожухом. В межтрубном пространстве находится змеевик, в котором испаряется R404 и на холодной поверхности которого газообразный R23 охлаждается и конденсирует. Жидкий R23 покидает испаритель-конденсатор (6) и электромагнитный вентиль (15) поступает к термостатическому расширительному клапану (16). Здесь жидкий R23, который находится под давлением конденсации, расширяется на давление испарения. При этом он охлаждается на температуру кипения, принадлежащей к давлению испарения. При расширении образуется газообразный R23. Смесь газа и жидкости через впрыскивающий трубопровод, распределитель и распределительные трубы поступает в испаритель (17) находящийся в камере. Здесь он полностью испаряется. Образующийся газ R23 покидает испаритель (17) в перегретом состоянии. Он через всасывающий трубопровод снова поступает в компрессор (2).

Вся линия циркуляции R23 (сторона всасывания и сторона нагнетания) рассчитана на предельное рабочее давление 20 кгс/см^{-2} избыточного давления.

В качестве дополнительных деталей установки в сравнение с линией циркуляции R404 линия циркуляции R23 имеет:

а) масловозвратное устройство (18);

б) соединительный трубопровод от испарителя-конденсатора (6) через электромагнитный вентиль (20) к всасывающему трубопроводу;

в) уравнильный бак (25).

Объяснение функции этих деталей установки:

а) масловозвратное устройство.

Маслоотделитель требуется в линии циркуляции R23, так как при низких температурах, существующих в испарителе (17), имеется опасность, что при большой доле масла в хладагенте масло в испарителе или во впрыскиваемом трубопроводе затвердеет и таким образом получают забивания. Давление на всасывании приближается к нулю и компрессор начинает выгонять масло. В этом случае попавшее вместе с газом масло в маслоотделитель отделяется и возвращается в картер компрессора.

б) соединительный трубопровод от испарителя конденсатора (6) через электромагнитный вентиль (20) к всасывающему трубопроводу.

С помощью этого соединительного трубопровода встроенного в нем магнитного вентиля (20) в ступени R23 возможна работа с перепуском. В сопряжении с электронным терморегулирующим устройством можно таким образом регулировать температуру в полезном пространстве.

в) уравнильный бак (25).

Давление насыщения над жидким R23 при + 25 °C составляет 45 кгс/см^2 . Различные узлы в линии циркуляции хладагента не выдерживают это давление, а кроме этого следовало бы выполнить сосуды с более толстыми стенками. Поэтому выбирать объем линии циркуляции R23 таким большим, чтобы при максимальной температуре, которую могут получать детали линии циркуляции, весь R23 испарился и мог расширяться таким образом, чтобы не создалось недопустимо высокое давление. Так как нормальный объем

установки в нашем случае не хватает, был предусмотрен уравнивающий бак (25).

Во время работы холодильной установки большое количество R23 находится на стороне нагнетания линии циркуляции R23. Если разъединяют установку от электрической сети, магнитные вентили (20) и (15) закрываются, и компрессор останавливается.

Так как сравнительно большие количества R23 на стороне нагнетания не имеют достаточного объема для расширения, при простое может прийти к недопустимо высокому увеличению давления.

Предотвращение этого увеличения - это задача выше упомянутого трубопровода. Он представляет собой постоянное соединение между стороной нагнетания и стороной всасывания. Снижение производительности во время работы вследствие постоянного перепуска сжатого газа незначительно.

Линия 1 каскада так же имеет дополнительные вентили (22), вентили на кранах компрессора и сервисные штуцера, манометр для проведения технического обслуживания и ремонта

1.5 Технические требования к климатической камере КТК-3000 и электрооборудованию.

Наличие алгоритмов регулирования, обеспечивающих необходимую точность установки значений параметров камеры, составляющую для температуры $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, для влажности $\pm 2\%$, а также строгое выдерживание временных интервалов режимов и заданной скорости изменения параметра. Выход на режим от $t = -70^{\circ}\text{C}$ до 100°C не более 3-х часов.

Обеспечение длительной устойчивой работы камеры в автономном режиме, необходимой при проведении продолжительных испытаний.

Обеспечение возможности функционирования и задания рабочих параметров для камеры в автономном режиме, даже в случае отсутствия связи с рабочим местом оператора.

Холодопроизводительность компрессорной установки должна быть не менее 10 кВт, с использованием холодильного агента R-23.

Автоматический контроль функционирования управляющих устройств, заключающийся в реализации большого количества логических связей между сигналами, являющимися различными блокировками, которые ранее выполнялись старыми платами логики для предотвращения повреждения механизмов.

Контроль технологических данных и их сохранение в базе данных одного из стандартных форматов, что обеспечивает оперативный доступ к архивным данным из различных систем.

Операторский интерфейс, предоставляющий персоналу широкие возможности настройки программ испытаний, удобный доступ к текущей и архивной информации.

Возможность дальнейшего расширения и усовершенствования системы, которая при необходимости может быть реализована силами пользователей.

Электрическая схема холодильного агрегата должна обеспечивать:

- выход на заданный режим, автоматическое поддержание заданной температуры с точностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$ в месте установки регулирующего датчика температуры;

- непрерывную запись температуры и влажности воздуха на компьютере или на диаграммной ленте и визуальный контроль температуры.

Установка агрегата должна обеспечивать свободный доступ к оборудованию при проведении технического обслуживания и ремонта.

Увлажнительное устройство (агрегат) должно обеспечивать поддержание температуры и влажности в рабочем объеме камеры с точностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$ и $\pm 3\%$, соответственно, при заданных циклах.

цикл №1 (равен 24-часам)

- Повышение температуры в камере до $(100 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ в течение 1-3 часов.

- Относительная влажность воздуха в этот период должна быть не менее 95%;
- Поддержание температуры $(100\pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 12 часов от начала цикла. Относительная влажность в этот период должна быть $(93\pm 3)\%$;
- Снижение температуры в камере до 25°C в течение 4-9 часов. Относительная влажность в течение этого периода должна быть 95%;
- До конца цикла в камере поддерживается температура 25°C и относительная влажность не менее 95%.

цикл №2

Температура в камере повышается до 55°C в течение 1-3 часов и поддерживается в течение 12 часов от начала цикла.

Влажность воздуха в камере создается и поддерживается аналогично циклу №1 [9-10].

1.6 Выбор системы управления климатической установкой

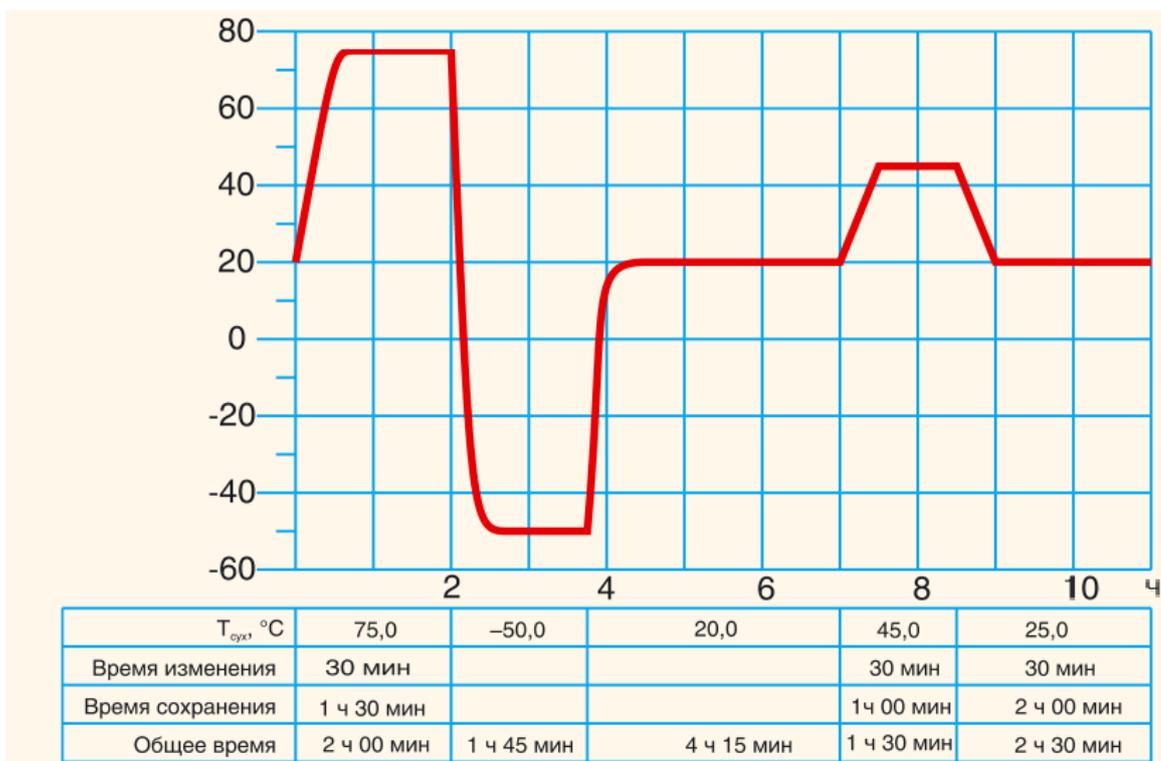


Рисунок 1 - Типичный вид программы испытаний

Для выбора приводятся сравнительные таблицы общих характеристик наиболее подходящих регуляторов температуры и влажности МПР 51 и ТРМ 151.

МПР 51-Щ4

Программный регулятор температуры и влажности. Вход прибора: 3 датчика ТС; выход прибора: 5 реле, 8 транзисторных ключей; 60 программ до 7 шагов каждая или 5 программ по 99 шагов, RS 485, ПИД закон, питание прибора 220 В.

Варианты применения прибора МПР51-Щ4:

- измеритель-регулятор температуры и влажности (Тсух,);
- измеритель-регулятор температуры и разности температур (Тсух, Т);
- двухканальный измеритель-регулятор температуры с дополнительным каналом сигнализации (Тсух, Твлаж, Тпрод).

Вычисление двух дополнительных параметров:

- разности температур $T = T_{сух} - T_{прод}$;
- влажности психрометрическим методом (по показаниям «сухого» и «влажного» термометров).
- Два ПИД - регулятора для поддержания любых двух из пяти вышеперечисленных величин с высокой точностью;
- Четыре выходных реле для подключения ТЭНов, охладительных систем, задвижек и других исполнительных устройств;
- Регулирование по заданной пользователем программе.

Таблица 1 – Питание прибора МПР51-Щ4

Номинальное напряжение питания	90...245 В переменного тока частотой 47...63 Гц
Допустимое отклонение напряжения питания	-15...+10%

Таблица 2 – Диапазон измерения при использовании (в скобках указана разрешающая способность)

датчика ТСМ	-50...+200 °С (0,1°С)
датчика ТСП	-50...+750 °С (0,1°С)
датчика положения задвижки	0...100% (1%)
Пределно допустимая основная приведенная погрешность	измерения входного параметра ±0,2%
Диапазон измерения температуры при использовании ДТВ	-80...+ 100 °С (0,1 °С)

Таблица 3 – Максимально допустимый ток нагрузки устройств управления МПР51-Щ4

электромагнитного реле (при ~220 В или = 30 В)	4 А
транзисторного ключа (при постоянном напряжении = 50 В)	200 мА
Интерфейс связи с ЭВМ (через адаптер сети АС2)	RS-232
Длина линии связи прибора с АС2	не более 1000 м
Допустимая температура воздуха, окружающего прибор	+5...+50 °С
Тип и габаритные размеры прибора	Щ4, 96x96x145 мм
Степень защиты прибора/корпуса со стороны передней панели	IP54/IP00

ТРМ 151

- Программный ПИД-регулятор универсальный двухканальный. Вход прибора: два универсальных; выход прибора: 2 (реле, транзисторная, симисторная оптопара, ток 4...20 мА; напряжение 0...10 В) в различной комбинации;

- ПИД, П, трехпозиционный закон управления, возможность расширения выходов через МВУ8, RS 485, питание прибора 220 В;

- Один или два канала программного пошагового регулирования;
- Два встроенных универсальных входа и два выхода;
- Режим ручного управления выходной мощностью регулятора.

Таблица 4 – Общие характеристики прибора ТРМ151

Напряжение питания	90...245 В перем. тока
Частота напряжения питания	47...63 Гц
Потребляемая мощность	не более 6 ВА
Количество входов для подключения датчиков	2
Время опроса одного входа	не более 0,3 с
Количество выходных элементов	2
Интерфейс связи с компьютером	RS-485

Для системы управления климатической установкой КТК-3000 наиболее подходит программируемый регулятор температуры МПР51-Щ4. Такой вывод можно сделать исходя из функциональных возможностей МПР51-Щ4, которые преимущественно отличаются от ТРМ 151:

- измеряет шесть параметров: (температуру камеры («сухого» термометра) $T_{\text{сух}}$; температуру «влажного» термометра $T_{\text{влаж}}$; температуру продукта $T_{\text{прод}}$, влажность, положения двух задвижек);

- вычисляет два дополнительных параметра: разность температур $T = T_{\text{сух}} - T_{\text{прод}}$; влажность психрометрическим методом (по показаниям «сухого» и «влажного» термометров);

- регулирует температуру по двум независимым каналам (не только газовой, но и жидкой, и твердотельной среды);

- задает программу регулирования с различными уровнями защиты [11];

1.7 Устройство и работа прибора МПР 51-Щ4

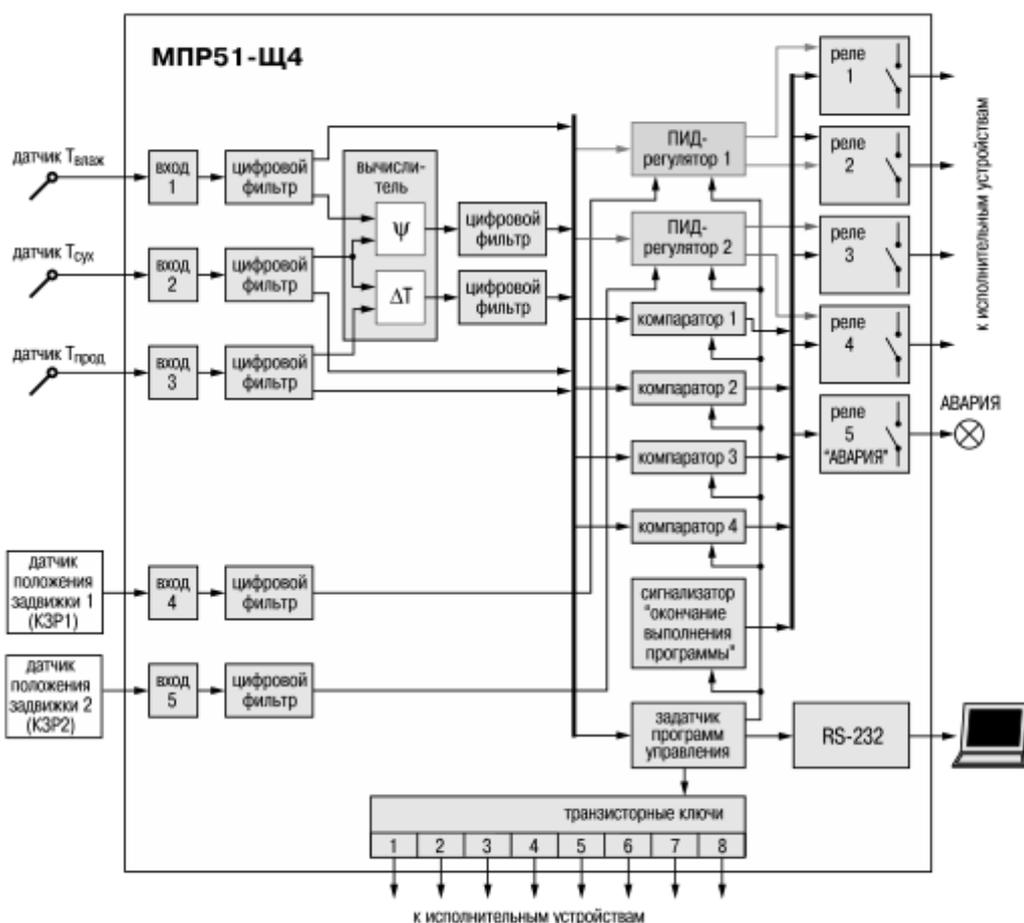


Рисунок 2 – Блок-схема прибора

Блок - схема содержит:

- 5 входных устройств (входов);
- 2 регулятора;
- 4 компаратора;
- 6 цифровых фильтров;
- устройство для вычисления разности температур ΔT и относительной влажности ψ ;
- задатчик программ управления (программ технолога);
- 8 выходных транзисторных ключей;
- 5 выходных реле;
- устройство-сигнализатор об окончании выполнения программы технолога;

- устройство связи с компьютером, индикаторы.

На входные устройства прибора поступают сигналы от датчиков температуры «сухого» термометра $T_{\text{сух}}$; «влажного» термометра $T_{\text{влаж}}$; испытываемого прибора $T_{\text{приб}}$ и датчиков положения «Задвижка 1» и «Задвижка 2».

1.7.1 Блоки структурной схемы прибора.

Входные устройства. Измерение температуры

Температура измеряется с помощью термопреобразователей сопротивления. Это могут быть медные датчики ТСМ 50М ($R_0 = 50 \text{ Ом}$), ТСМ 100М ($R_0 = 100 \text{ Ом}$) и платиновые датчики ТСП 50П ($R_0 = 50 \text{ Ом}$), ТСП 100П ($R_0 = 100 \text{ Ом}$).

Работа таких датчиков основана на температурной зависимости электрического сопротивления металлов. Датчик, как правило, выполнен в виде катушки из тонкой медной или платиновой проволоки на каркасе из изоляционного материала, заключенной в защитную гильзу. Термопреобразователи сопротивления характеризуются двумя параметрами: R_0 - сопротивление датчика при 0°C и W_{100} - отношение сопротивления датчика при 100°C к его сопротивлению при 0°C .

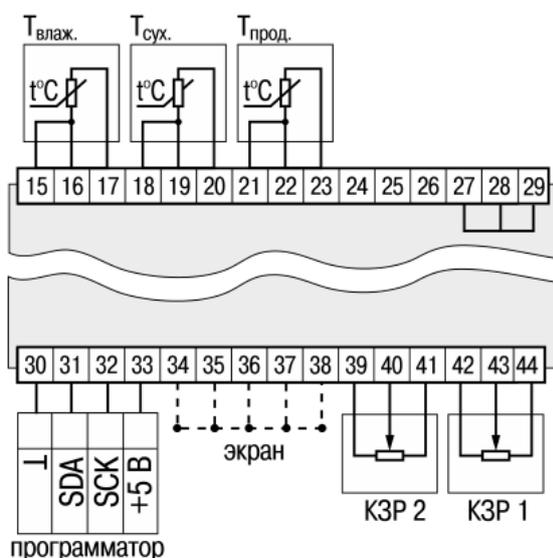


Рисунок 3 – Подключение измерительных датчиков и датчиков положения задвижек

В приборах МПР51-Щ4 используется трехпроводная схема подключения термопреобразователей сопротивления (смотри рисунок 3).

К одному из выводов термосопротивления подсоединяются два провода, а третий подключается к другому выводу. Такая схема при соблюдении условия равенства сопротивления всех трех проводов (если провода одного сечения, то равенства их длины), позволяет скомпенсировать сопротивление соединительных проводов.

Термопреобразователи сопротивления могут подключаться к прибору с использованием двухпроводной схемы подключения (смотри рисунок 4), но при этом отсутствует компенсация сопротивления соединительных проводов, поэтому будет наблюдаться некоторая зависимость показаний прибора от колебаний температуры проводов и от увеличения протяженности линии связи «датчик - прибор».

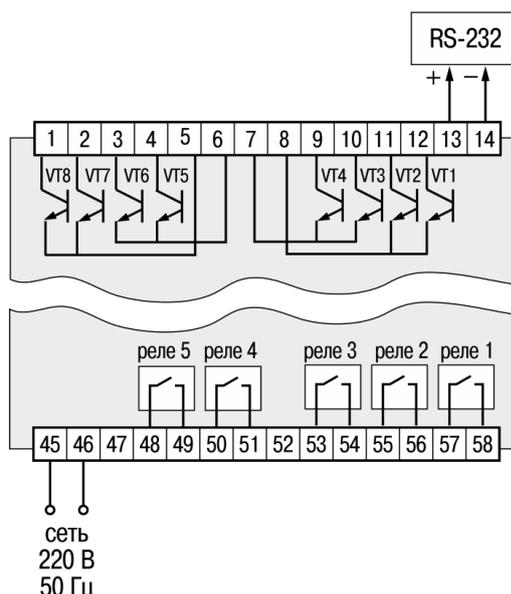


Рисунок 4 - Подключение транзисторных ключей и выходных устройств

1.7.2 Определение положения задвижки с помощью резистивного датчика

Сопротивление датчика должно находиться в пределах от 100 до 1000 Ом; при больших значениях сопротивления помехоустойчивость прибора будет снижаться.

Положение задвижки отображается на индикаторе «ПАРАМЕТР» в процентах: закрытому состоянию задвижки соответствует показание 0 %, открытому - 100 %.

Поскольку крайние положения движка переменного резистора датчика положения не всегда соответствуют полному открытию или закрытию задвижки, предусматривается процедура калибровки датчика при полностью закрытом состоянии (min)- 0% и полностью открытом состоянии (max) - 100%; показания на индикаторе между этими положениями линейно зависят от сопротивления переменного резистора.

1.7.3 Вычисление влажности и разности температур камеры и испытуемого прибора

Устройство для вычисления ΔT и у кроме измерения трех входных величин $T_{\text{сух}}$, $T_{\text{влаж}}$, $T_{\text{прод}}$ вычисляет разность между $T_{\text{сух}}$ и $T_{\text{прод}}$, равную ΔT , а также, используя величины $T_{\text{сух}}$ и $T_{\text{влаж}}$, вычисляет относительную влажность воздуха Ψ .

Прибор вычисляет относительную влажность воздуха по психрометрическому методу. Для этого используются значения температуры «сухого» и «влажного» термометров. «Сухой» термометр - это обычный термометр, измеряющий температуру газовой среды в камере. «Влажный» термометр - это термометр с увлажненным фитилем на своем чувствительном элементе. На основе полуэмпирических формул выведена общепринятая формула расчета относительной влажности воздуха Ψ , %.

$$\Psi = \frac{E_{\text{влаж}}}{E_{\text{сух}}} - \frac{A \cdot P \cdot (T_{\text{сух}} - T_{\text{влаж}})}{E_{\text{сух}}}, \quad (1.5.3.1)$$

где $E_{\text{влаж}}$ - максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре воздуха $T_{\text{влаж}}$, °C;

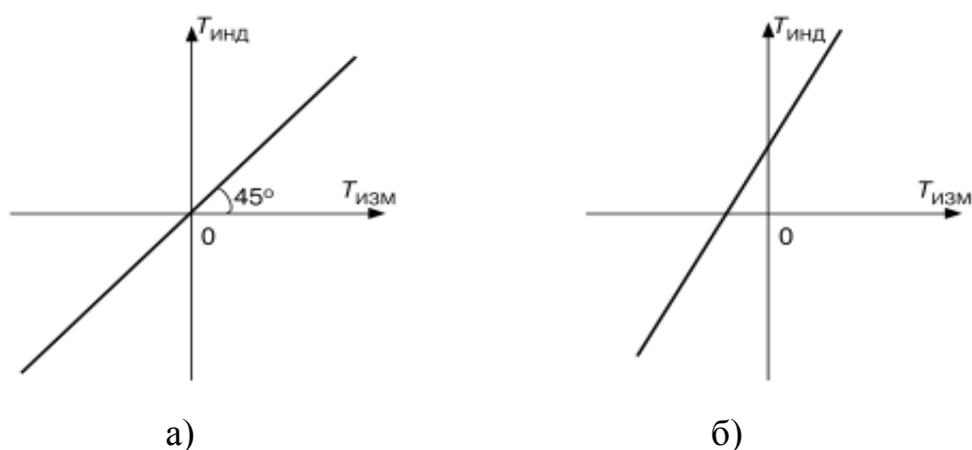
$E_{\text{сух}}$ - максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре воздуха, $T_{\text{сух}}$, °C;

P - атмосферное давление, Па (при вычислении принято $P = 101308$ Па);

$T_{\text{сух}}$ - температура «сухого» термопреобразователя, °С;

$T_{\text{влаж}}$ - температура «влажного» термопреобразователя, °С;

A - психрометрический коэффициент (психрометрическая постоянная).



а – характеристика исправного датчика; б – характеристика датчика, измененная вследствие погрешностей

Рисунок 5 – Характеристики датчика

1.7.4 Коррекция показаний датчиков температуры

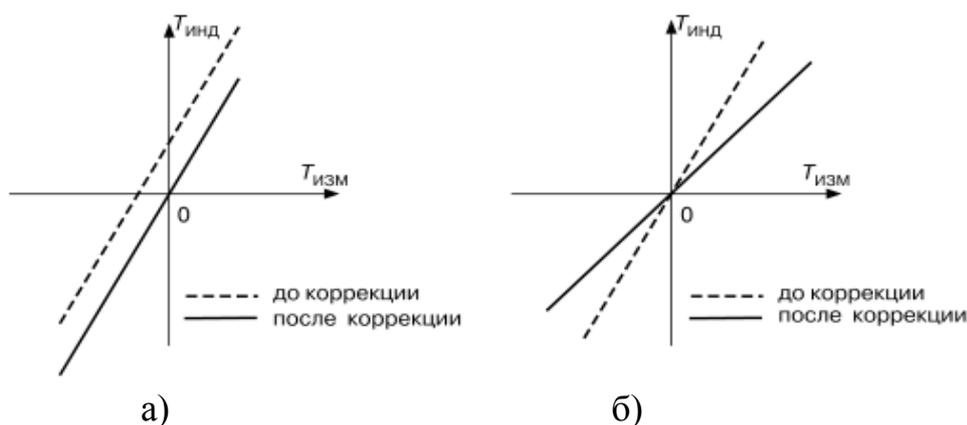
Исправный датчик должен иметь характеристику (зависимость индицируемой прибором температуры $T_{\text{инд}}$ от измеряемой температуры $T_{\text{изм}}$), изображённую на рисунке 5, а.

Вследствие погрешности изготовления, вызванной погрешностью намотки измерительного резистора, несоответствием материала датчика стандарту, старения датчика, характеристика может изменяться и, в общем случае, может принять вид, показанный на рисунке 5, б. Для «исправления» характеристики в приборе предусмотрена коррекция показаний датчиков температуры.

Для сдвига характеристики в вертикальном направлении (смотри рисунок 6, а) надо ввести корректирующее значение δ , программируемые

параметры «сдвиг характеристики» $1c1(2c1, 3c1)$ (смотри приложение Б «Программируемые параметры»).

Если характеристику надо сдвинуть вверх (увеличить индицируемое значение), то задаётся положительный знак поправки (параметры $1c2(2c2, 3c2) = 000$); если вниз, то отрицательное значение, (параметры $1c2(2c2, 3c2) = 001$), (смотри приложение Б «Программируемые параметры»).



а – коррекция («сдвиг характеристики»); б – коррекция («наклон характеристики»)

Рисунок 6 – Коррекции характеристик

Для поворота графика вокруг точки, соответствующей $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (смотри рисунок 6, б), надо ввести корректирующее значение α , программируемые параметры «наклон характеристики» $1c3(2c3, 3c3)$ (смотри приложение Б «Программируемые параметры»). Если надо повернуть график по часовой стрелке (уменьшить индицируемое значение), то задаётся отрицательный знак поправки (параметры $1c4(2c4, 3c4) = 001$), если против часовой стрелки (увеличить индицируемое значение), то знак поправки положительный (параметры $1c4, 2c4, 3c4 = 000$) (смотри приложение Б «Программируемые параметры»).

В результате коррекции значение температуры, выводимое на индикатор, будет равно, $^{\circ}\text{C}$:

$$T_{\text{инд}} = (T_{\text{изм}} + \delta) \cdot (1 + \alpha/100 \%). \quad (1.5.4.1)$$

Необходимо иметь в виду, что δ задаётся в градусах, а α - в процентах от измеренной величины [12-13].

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Техническое задание на проектирование холодильного агрегата климатической камеры КТК-3000:

Холодопроизводительность :

$$Q_e = 10 \text{ кВт}$$

Холодильный агент :

R-23

Температура кипения х.а. :

$$t_{ev} := -15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура конденсации х.а. :

$$t_{cd} := 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Перегрев в испарителе :

$$\Delta t_{ev} := 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Переохлаждение в конденсаторе :

$$\Delta t_{cd} := 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Давление кипения х.а. :

$$P_{ev} = 1.634 \text{ бар}$$

Давление конденсации х.а. :

$$P_{cd} = 6.638 \text{ бар}$$

Депрессия на всасывании :

$$\Delta P_{sl} = 0.041 \text{ бар}$$

Депрессия на нагнетании :

$$\Delta P_{dl} = 0.332 \text{ бар}$$

Давление всасывания х.а. :

$$P_{sl} = 1.593 \text{ бар}$$

Давление нагнетания х.а. :

$$P_{dl} = 6.97 \text{ бар}$$

Степень сжатия

$$\Delta P = 4.374$$

2.2 Выбор и расчет параметров холодильного агрегата климатической установки

2.2.1 Расчёт цикла

а) Удельная массовая холодопроизводительность:

$$q_e = h_6 - h_5, \quad (2.2.1.1)$$

$$q_e = 172.925 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

б) Удельная массовая теплота конденсации

$$q_c = h_3 - h_4, \quad (2.2.1.2)$$

$$q_c = 207.834 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

в) Удельная адиабатная работа сжатия

$$l_a = h_2 - h_1, \quad (2.2.1.3)$$

$$l_a = 34.908 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

г) Удельная объёмная холодопроизводительность

$$q_v = \frac{q_e}{v_1}, \quad (2.2.1.4)$$

$$q_v = 1.291 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

д) Массовый расход холодильного агента

$$M_a = \frac{Q_e}{q_e}, \quad (2.2.1.5)$$

$$M_a = 0.058 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

е) Действительная объёмная производительность компрессора:

$$V_{\text{val}} = M_a v_1, \quad (2.2.1.6)$$

$$V_{\text{val}} = 7.7437 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

ж) Коэффициент подачи компрессора

Коэффициент учитывающий влияние "мёртвого пространства" и депрессию в клапанах:

$$\lambda_i = \frac{P_{ev} - \Delta P_{sl}}{P_{ev}} - c_\lambda \cdot \left[\left(\frac{P_{cd} + \Delta P_{dl}}{P_{ev}} \right)^{\frac{1}{m_\lambda}} - \frac{P_{ev} - \Delta P_{sl}}{P_{ev}} \right], \quad (2.2.1.7)$$

$$\lambda_i = 0.912$$

Коэффициент учитывающий объёмные потери, вызванные дросселированием пара в клапанах

$$\theta = 13.582^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{w'} = \frac{\Gamma_e + \theta}{\alpha_\lambda \cdot \Gamma_c + \beta_\lambda \cdot \theta}, \quad (2.2.1.8)$$

$$\lambda_{w'} = 0.797$$

Коэффициент подачи компрессора

$$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_{w'}, \quad (2.2.1.9)$$

$$\lambda = 0.727$$

з) Теоретический объём, описанный поршнями компрессора

$$V_h = \frac{M_a \cdot v_1}{\lambda}, \quad (2.2.1.10)$$

$$V_h = 0.011 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

и) Адиабатная мощность компрессора

$$N_a = M_a \cdot I_a, \quad (2.2.1.11)$$

$$N_a = 2.019 \text{ кВт}$$

к) Адиабатная тепловая нагрузка на конденсатор

$$Q_c = Q_e + N_a, \quad (2.2.1.12)$$

$$Q_c = 12.019 \text{ кВт}$$

л) Индикаторная мощность компрессора

$$\eta_{\text{ind}} = \left(\lambda_{w'} + b \cdot \frac{t_{\text{ev}}}{^{\circ}\text{C}} \right) \cdot 100 \% , \quad (2.2.1.13)$$

$$\eta_{\text{ind}} = 78.2478\%$$

$$N_{\text{ind}} = \frac{N_a}{\eta_{\text{ind}}} , \quad (2.2.1.14)$$

$$N_{\text{ind}} = 2.58 \text{ кВт}$$

м) Мощность трения

$$N_{\text{fr}} = P_{\text{imp}} \cdot V_h , \quad (2.2.1.15)$$

$$N_{\text{fr}} = 0.426 \text{ кВт}$$

н) Эффективная мощность компрессора

$$N_{\text{eff}} = N_{\text{ind}} + N_{\text{fr}} , \quad (2.2.1.16)$$

$$N_{\text{eff}} = 3.006 \text{ кВт}$$

о) Электрическая мощность компрессора

$$N_{\text{el}} = \frac{N_{\text{eff}}}{\eta_{\text{el}}} , \quad (2.2.1.17)$$

$$N_{\text{el}} = 3.515 \text{ кВт}$$

2.2.2 Термодинамическая эффективность машины:

а) Теоретический коэффициент преобразования

$$\text{COP}_a = \frac{q_e}{l_a} , \quad (2.2.2.1)$$

$$\text{COP}_a = 4.954$$

б) Коэффициент преобразования цикла Карно

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{T_c}{T_c - T_e}, \quad (2.2.2.2)$$

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = 6.45$$

в) Теоретическая степень термодинамического совершенства

$$\eta_a = \frac{\text{COP}_a}{\text{COP}_{\text{Carnot}}} \cdot 100\%, \quad (2.2.2.3)$$

$$\eta_a = 76.801\%$$

г) Действительный коэффициент преобразования

$$\text{COP}_{\text{val}} = \frac{Q_e}{N_{\text{eff}}} \quad (2.2.2.4)$$

$$\text{COP}_{\text{val}} = 3.327$$

д) Действительная степень термодинамического совершенства

$$\eta_{\text{val}} = \frac{\text{COP}_{\text{val}}}{\text{COP}_{\text{Carnot}}} \cdot 100\% \quad (2.2.2.5)$$

$$\eta_{\text{val}} = 51.582\%$$

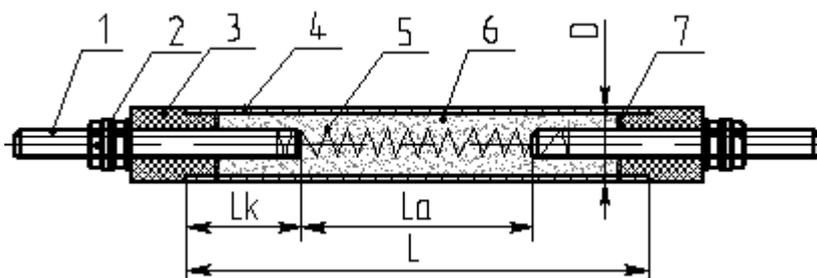
Всем найденным характеристикам наиболее подходит компрессор полугерметичный Bitzer 4FC-3.2Y-40S. Этот компрессор характеризуется компактностью, малым требуемым местом для установки, универсальным применением, минимальной потребляемой мощностью, особенно малой шумностью и отсутствием вибрации [14-17].

2.3 Выбор и расчет электронагревателя климатической установки

Трубчатые электронагреватели (ТЭН) предназначены для преобразования электрической энергии в тепло. Применяются для непосредственного нагрева твердых, жидких, газообразных и сыпучих сред. Эксплуатация ТЭНа в той или иной среде, как правило, ограничивается коррозионной стойкостью оболочки и допустимой рабочей температурой [18].

Металлоконструкция термокамеры выполнена из труб, в которых циркулирует вода, подогреваемые ТЭНами в специальном баке. Так как формы разогреваются, то тепло требуется только для поддержания температуры внутри камеры до 70-100°C, и мощности ТЭНа в 4 кВт вполне достаточно.

Конструкция ТЭНа:



1 – контактный стержень; 2 – контактные гайки и шайбы; 3 – изолятор; 4 – трубчатая оболочка;
5 – нагревательная спираль; 6 – наполнитель; 7 – герметик.

Рисунок 9 - Конструкция ТЭНа

D – диаметр оболочки; L – развернутая длина оболочки; L_k – заделка контактного стержня; L_a – активная длина ТЭН. Активная поверхность ТЭН – площадь поверхности трубчатой оболочки ТЭН на длине L_a .

Структура условного обозначения ТЭН:

ТЭН-XXX/XXX,

где ТЭН – трубчатый электронагреватель;

X - развернутая длина ТЭН по оболочке L (смотри рисунок 9), см

X - обозначение заделки контактного стержня L_k (смотри рисунок 9, таблицу 5) или численное значение заделки L_k в см.;

X - диаметр оболочки ТЭН D (смотри рисунок 9), мм;

/ - разделитель;

X - номинальная мощность, кВт; X - обозначение нагреваемой среды и материала оболочки ТЭН (смотри таблицу 6);

X - номинальное напряжение, В.

Таблица 5 – Стандартная заделка Lk (см. рисунок 9) контактного стержня ТЭНа

Обозначение	Величина, мм
A	40
B	65
C	100
D	125
E	160
F	250
G	400
H	630

Таблица 6 – Условное обозначение нагреваемой среды и материала оболочки для промышленных ТЭН

Условное обозначение	Нагреваемая среда	Характер нагрева	Материал оболочки
X	Вода, слабый раствор щелочей и кислот (рН от 5 до 9)	Нагревание, кипячение с максимальной температурой на оболочке 100°C	Медь и латунь (с покрытиями)
J	Вода, слабый раствор кислот (рН от 5 до 7)	Нагревание, кипячение с максимальной температурой на оболочке 100°C	Нержавеющая сталь
P	Вода, слабый раствор щелочей (рН от 7 до 9)	Нагревание, кипячение с максимальной температурой на оболочке 100°C	Углеродистая сталь
S	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в спокойной газовой среде до температуры на оболочке ТЭН 450°C	Углеродистая сталь
T	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в спокойной газовой среде с температурой на оболочке ТЭН свыше 450°C	Нержавеющая сталь

Продолжение таблицы 6

О	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в движущейся со скоростью 6м/с воздушной среде до температуры на оболочке ТЭН 450 °С	Углеродистая сталь
К	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в движущейся со скоростью не менее 6м/с воздушной среде с температурой на оболочке ТЭН св. 450 °С	Нержавеющая сталь
Р	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в движущейся со скоростью менее 6м/с воздушной среде до температуры на оболочке ТЭН 450 °С	Углеродистая сталь
Н	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в движущейся со скоростью менее 6м/с воздушной среде с температурой на оболочке ТЭН св. 450 °С	Нержавеющая сталь
З	Жиры, масла	Нагрев в ваннах и др. емкостях	Углеродистая сталь
У	Щелочь, щелочно-селитровая смесь	Нагрев и плавление в ваннах и др. емкостях с температурой на оболочке ТЭН до 600 °С	Углеродистая сталь
В	Легкоплавкие металлы: олово, свинец и др.	Нагрев и плавление в ваннах и др. емкостях с температурой на оболочке ТЭН до 450 °С	Углеродистая сталь
Л	Литейные формы, пресс-формы	ТЭН вставлен в паз, имеется гарантированный контакт с нагреваемым металлом, температура на оболочке ТЭН до 450 °С	Углеродистая сталь
У	Металлические плиты из алюминиевых сплавов	ТЭН залит металлом, работает с термоограничителями, температура на оболочке ТЭН до 320 °С	Углеродистая сталь

Максимальная мощность P_{\max} ТЭН зависит от нагреваемой среды, материала оболочки, характера нагрева, площади активной поверхности (смотри рисунок 9).

Максимальная мощность P_{\max} ТЭН рассчитывается по формуле:

$$P_{\max} = P_{\text{уд.мах}} \cdot S, \quad (2.3.1)$$

где $S, \text{см}^2$ - площадь активной поверхности;

$P_{\text{уд.мах}}, \text{Вт/см}^2$ - максимальная удельная мощность.

Рекомендации относительно значений максимальной удельной мощности $P_{\text{уд.мах}}$ можно найти в ГОСТ 13268-88 для ТЭН промышленного назначения.

ТЭН, мощность которого превышает рекомендуемое максимальное значение, снижает его надежность и долговечность.

Таблица 7 – $P_{\text{уд.мах}}$ для ТЭН промышленного назначения

Условное обозначение (смотри таблицу 1)	$P_{\text{уд.мах}}, \text{Вт/см}^2$
X	9
J	15
P	15
S	2,2
T	5
O	5,5
K	6,5
R	3,5
N	5,1
Z	3,0
V	3,5
W	3,5
L	5,0
Y	13,0

По таблице 6 выбираем наиболее подходящий нагреватель по условному обозначению "Т" соответствует значение $P_{уд.мах}=5 \text{ Вт/см}^2$, ТЭН 200D13/4T220

Активная длина ТЭН (смотри рисунок 1), м:

$$L_a = L - 2 \cdot L_k \quad (2.3.2)$$

$$L_a = 200 \text{ см} - 2 \cdot 2,5 \text{ см} = 195 \text{ см}.$$

Площадь активной поверхности (смотри рисунок 1), см^2 :

$$S = (\pi \cdot D) \cdot L_a \quad (2.3.3)$$

$$S = 3,14 \cdot 1,3 \cdot 195 = 796 \text{ см}^2,$$

где $(\pi \cdot D)$ длина оболочки ТЭН по окружности.

Максимальная мощность $P_{мах}$, кВт:

$$P_{мах} = P_{уд.мах} \cdot S \quad (2.3.4)$$

$$P_{мах} = 5 \text{ Вт/см}^2 \cdot 796 \text{ см}^2 = 5633 \text{ Вт} = 3,98 \text{ кВт}.$$

Выбранный полугерметичный компрессор *Bitzer* 4FC-3.2Y-40S и ТЭН 200D13/4T220 полностью удовлетворяет основанию выполнения модернизации климатической камеры. Необходимость выполнения замены холодильного агрегата была вызвана тем, что камера КТК-3000 была изготовлена в ГДР в 1977 г. Компрессор H2-28/4 м³ холодильной установки вышел из строя, запасных компрессоров нет. ТЭНы, система увлажнения и управления камерой физический изношены.

В связи с тем, что в процессе испытания приборов необходимо поддерживать заданную температуру, ТЭНы включены только когда температура воздуха в камере климатической установки меньше заданной. Как только температура воздуха превышает заданный предел на допустимую величину, система управления подает сигнал на отключение ТЭНов. При этом

$P_{\text{ТЭН}} = 0$. При падении температуры за нижний предел система управления подает сигнал на включение ТЭНов.

При этом $P_{\text{ТЭН}} = P_{\text{ТЭН зад}}$, где $P_{\text{ТЭН зад}}$ - номинальная мощность ТЭНов.

Тепловой поток, вносимый с паром, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пара}} = (P_{\text{тен вл}} / r) \cdot h_{\text{п}}, \quad (2.3.5)$$

где $P_{\text{тен вл}}$ - мощность ТЭНов, используемых для подогрева и испарения воды, с целью увлажнения воздуха в камере;

r - теплота парообразования воды;

$h_{\text{п}}$ - удельная энтальпия насыщенного пара.

Тепловой поток, получаемый тестовыми приборами и используемый для их прогрева, может быть описан формулой конвективного теплообмена:

$$Q_{\text{теста}} = \alpha_{\text{теста}} \cdot S_{\text{теста}} \cdot (T_{\text{возд}} - T_{\text{теста}}), \quad (2.3.6)$$

где $\alpha_{\text{теста}}$ - коэффициент теплоотдачи на поверхность тестовых приборов;

$S_{\text{теста}}$ - площадь поверхности тестовых приборов;

$T_{\text{теста}}$ – температура, идущая на прогрев тестовых приборов, скорость изменения которой, с учетом того, что при испытании из тестовых приборов выделяется энергия $Q_{\text{теста выд}}$.

$$\frac{dT_{\text{теста}}}{dt} = \frac{Q_{\text{теста}} + Q_{\text{теставыд}}}{c_{\text{теста}} \cdot m_{\text{теста}}}, \quad (2.3.7)$$

где $c_{\text{теста}}$ - теплоемкость тестовых приборов;

$m_{\text{теста}}$ - масса тестовых приборов.

Следует учесть, что коэффициенты теплоотдачи конвекцией ($\alpha_{\text{ТЭН}}$, $\alpha_{\text{теста}}$, $\alpha_{\text{тел}}$) и коэффициент теплопередачи $k_{\text{ст}}$ (также зависящий от коэффициентов теплоотдачи поверхностей стенок) в свою очередь зависят от многих факторов: от температур поверхностей и омывающей их среды, от скорости движения

последней, от ее теплопроводности, вязкости, плотности и теплоемкости (в свою очередь также зависящих от температуры среды), от конфигурации и состояния поверхностей и их геометрических размеров. Нахождение коэффициентов теплоотдачи конвекцией возможно путем решения системы дифференциальных уравнений (Фурье-Кирхгофа, Навье-Стокса, сплошности(непрерывности), дифференциального уравнения теплообмена, описывающего процесс теплоотдачи на границах тела) с прибавлением краевых условий (геометрические условия, характеризующие форму и размеры тела, в котором протекает процесс теплопередачи; физические условия, характеризующие физические свойства среды и тела; граничные условия, характеризующие протекание процесса теплопередачи на границах тела; временные условия, характеризующие протекание процесса во времени). Это возможно лишь в некоторых частных случаях при использовании ряда упрощений, причем полученные решения не всегда согласуются с опытными результатами. Поэтому изучение конвективного теплообмена развивается, как правило, экспериментальным путем. Однако чисто экспериментальное изучение какого-либо физического явления имеет тот недостаток, что его результаты имеют ограниченную ценность, так как применимы лишь к частному явлению. Это чрезвычайно усложняет эксперимент, заставляя опытным путем проверить зависимость данного явления от ряда факторов, а некоторые явления зависят от многих переменных. На помощь в этих случаях приходит теория подобия, позволяющая в известной степени обобщить полученные опытные результаты, распространить их на целую группу подобных явлений. Подобные системы характеризуются безразмерными комплексами, составленными из характеризующих явление величин, сохраняющими одно и то же численное значение. Такие величины носят название *инвариантов* или *критериев подобия* и обозначаются символами, состоящими из первых букв фамилий ученых, которые их ввели в употребление или вообще работали в данной области. Для определения критериев теплового подобия для передачи тепла в движущейся среде конвекцией используется

дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа совместно с граничным уравнением теплообмена. На основе уравнения подобия процессов определяются соотношения между постоянными подобия, и из которых путем подстановки определяются критерии теплового подобия:

$$Nu = \alpha \cdot l / \lambda \quad (2.3.8)$$

Число Нуссельта (смотри формулу 2.3.8) характеризует собой условия теплопередачи между твердым телом и средой, оно содержит в себе искомую величину - коэффициент теплоотдачи α , коэффициент теплопроводности среды λ и определяющий размер l , характеризующий собой геометрическое подобие.

$$Pe = v \cdot l / a \quad (2.3.9)$$

Число Пекле (смотри формулу 2.3.10) обычно преобразуется и представляется в виде двух критериев:

$$Pe = \frac{v \cdot l}{a} = \frac{v \cdot l}{\nu} \cdot \frac{\nu}{a} = Re \cdot Pr \quad (2.3.10)$$

Число Рейнольдса Re содержит в себе скорость потока v и коэффициент кинематической вязкости $\nu = \mu/\rho$ м²/с, где μ - коэффициент динамической вязкости, характеризует собой ее внутреннее трение; ρ - плотность среды. Число Рейнольдса является критерием гидродинамического подобия, он характеризует собой условия вынужденного движения среды.

Множителями числа Прандтля Pr являются физические параметры - кинематическая вязкость и коэффициент температуропроводности - число Прандтля характеризует собой свойства среды. Оно практически не зависит ни от давления, ни от температуры. Так как коэффициент температуропроводности

$$a = \lambda / (c \cdot \rho), \quad (2.3.11)$$

$$\text{то } Pr = c \cdot \rho \cdot \nu / \lambda, \quad (2.3.12)$$

где c - теплоемкость среды;

ρ - плотность среды;

λ - коэффициент теплопроводности среды.

Так как мы имеем дело с теплоотдачей в потоке движущейся среды, то кроме теплового подобия, должны быть соблюдены условия гидромеханического подобия. Критерии гидромеханического подобия выделяются из дифференциального уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости Навье - Стокса. Это то же число Рейнольдса, а также число Грасгофа:

$$Gr = \beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta t / \nu^2, \quad (2.3.13)$$

где g - ускорение свободного падения;

Δt - температурный перепад между средой и омываемой ею поверхностью;

β - функция, связывающая изменение плотности среды с температурой.

Число Грасгофа Gr (смотри формулу 2.3.13) характеризует свободное конвективное движение среды.

Критериальное уравнение теплопередачи конвекцией строится по типу:

$$Nu = f (Re , Gr , Pr) \quad (2.3.14)$$

Здесь Nu содержит в себе искомую величину α и является неопределяющим критерием, тогда как критерии Re , Gr , Pr - определяющими.

Для газов одинаковой атомности и, в частности, для воздуха, когда $Pr = const$, будем иметь:

$$Nu = F (Re , Gr) \quad (2.3.15)$$

А при вынужденном турбулентном движении газа, что имеет место в климатической камере при обтекании потоком воздуха нагревателей, когда естественной конвекцией можно пренебречь, выпадает число Грасгофа:

$$Nu = F (Re) \quad (2.3.16)$$

Значение критической скорости, при которой происходит переход от ламинарного режима течения воздуха к турбулентному, соответствующее числу Рейнольдса $Re = 2200$, равно:

$$v_{кр} = 2200 \cdot v / d. \quad (2.3.17)$$

При работе климатической камеры в установившемся режиме в нем происходят постоянные колебания температуры в установленных пределах. Это объясняется работой системы управления. То есть не только при прогреве, но даже в установившемся режиме коэффициенты теплоотдачи поверхностей ТЭНов, стенок не являются постоянными и не подлежат однозначному точному математическому описанию.

Еще большую проблему представляет нахождение коэффициента теплоотдачи поверхностей тестовых приборов. Это связано с тем, что при поступлении тестовых приборов в климатическую камеру они прогреваются значительно медленнее, чем циркулирующая в климатической камере паровоздушная среда. Когда температура приборов оказывается меньше температуры точки росы паровоздушной среды, на их поверхности конденсируется влага, многократно увеличивая коэффициент теплоотдачи и интенсифицируя процесс теплопередачи от паровоздушной среды к поверхности тестовых приборов, в результате чего скорость прогрева их поверхности увеличивается. Влага, покрывающая тестовые приборы, также предотвращает их от затвердевания и от образования трещин при увеличении тестовых приборов. Конденсация влаги прекращается по достижении поверхностью тестовых приборов температуры точки росы (в свою очередь зависящей от постоянно меняющихся температуры и влажности циркулирующего в климатической камере воздуха). Коэффициент теплоотдачи поверхности тестовых приборов при этом уменьшается, что влечет за собой уменьшение интенсивности их прогрева. Таким образом, строгое математическое описание коэффициента теплоотдачи поверхности тестовых приборов не представляется возможным.

Модель поддержания заданной влажности воздуха в климатической камере.

Относительная влажность воздуха в климатической камере находится по уравнению:

$$\Phi_{\text{возд}} = \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{max}} , \quad (2.3.18)$$

где ρ_{max} - максимально возможная абсолютная влажность воздуха при данной температуре;

$\rho_{\text{п}}$ - действительная абсолютная влажность ненасыщенного воздуха, скорость изменения которой ($d\rho_{\text{п}}/dt$) может быть выражена как:

$$\frac{d\rho_{\text{п}}}{dt} = \frac{G_{\text{пара}} - G_{\text{потерь}}}{V_{\text{возд}}} , \quad (2.3.19)$$

где $V_{\text{возд}}$ - объем циркулирующего в климатической камере влажного воздуха;

$G_{\text{потерь}}$ - расход пара на конденсацию на стенках климатической камеры и на поверхности тестовых приборов;

$G_{\text{пара}}$ - расход пара на увлажнение воздуха в климатической камере:

$$G_{\text{пара}} = P_{\text{тен вл}} / r , \quad (2.3.20)$$

где r - теплота парообразования воды;

$P_{\text{тен вл}}$ - мощность ТЭНов, используемых для подогрева и испарения воды, с целью увлажнения воздуха в климатической камере.

В связи с тем, что в процессе испытания необходимо поддерживать заданную влажность, данные ТЭНы включены только пока относительная влажность воздуха в климатической камере меньше заданной. Как только относительная влажность воздуха превышает заданный предел система управления подает сигнал на отключение ТЭНов увлажнения. При этом $P_{\text{тен вл}} = 0$. При падении относительной влажности ниже предельной, система управления подает сигнал на включение ТЭНов увлажнения. При этом $P_{\text{тен вл}} = P_{\text{тен вл зад}}$, где $P_{\text{тен вл зад}}$ - номинальная мощность ТЭНов увлажнения.

Максимально возможная абсолютная влажность воздуха (ρ_{max}) зависит от температуры циркулирующего в климатической камере воздуха, а теплота

парообразования воды (r) зависит от температуры воды. И если последняя в установившемся режиме работы климатической камеры практически неизменна, то температура воздуха меняется в заданном диапазоне и в установившемся режиме работы климатической камеры $\Delta \rho_{\max}$ довольно существенно зависит от температуры воздуха. То есть даже в установившемся режиме работы климатической камеры ρ_{\max} будет существенно меняться и эти изменения не описываются с большой точностью математически.

Потери пара на конденсацию ($G_{\text{потерь}}$) происходят не всегда, а только при условии, что внутренняя поверхность стенок климатической камеры или поверхность тестовых приборов имеют температуру меньшую, чем температура точки росы (t_p) при данных условиях.

Конденсацию пара на стенках можно практически предотвратить, сделав достаточной теплоизоляцию стенок климатической камеры. Напротив, конденсация пара на поверхности тестовых приборов является неотъемлемой частью технологического процесса испытания тестовых приборов, напрямую влияющей на качество готовой продукции, и происходит в первой половине процесса испытания, до момента достижения поверхностью тестовых приборов температуры точки росы. В свою очередь, температура точки росы зависит от влажности и температуры воздуха в климатической камере. Таким образом, математическое описание потерь пара на конденсацию не представляется возможным.

Из всего вышеизложенного становится ясно, что полная математическая модель не пригодна для написания по ней алгоритма программы и самой программы для ЭВМ с целью моделирования процессов протекающих в климатической камере и выбора параметров системы управления, удовлетворяющих заданным требованиям.

В формулах конвекционной теплопередачи присутствуют коэффициенты теплоотдачи α . Как было показано ранее, коэффициенты теплоотдачи зависят от многих факторов: от температур поверхности и омывающей ее среды, скорости движения последней, ее теплопроводности,

вязкости, плотности и теплоемкости, от конфигурации и состояния поверхности и омывающей ее среды. В связи с невозможностью математического описания данных коэффициентов, для их нахождения пользуются экспериментальными данными, широко используя теорию подобия, позволяющую в известной степени обобщить полученные опытные результаты. Но используемые для нахождения коэффициентов теплоотдачи критериальные уравнения содержат критерии подобия (Nu , Pe , Re , Pr , Gr), которые зависят от многих параметров поверхностей и омывающей их среды, некоторые из которых зависят от температуры среды и от разности между ней и температур омываемых ею поверхностей. Данные зависимости не описаны математически. Конденсация влаги на поверхности тестовых приборов в процессе их испытания еще больше затрудняет точное нахождение коэффициента теплоотдачи их поверхности.

Конденсация влаги на поверхности тестовых приборов, а также на внутренней поверхности стенок климатической камеры приводит к уменьшению абсолютной и относительной влажности в климатической камере. Для поддержания заданной относительной влажности воздуха применяется испарение воды, контролируемое проектируемой системой управления. Но вместе с паром в климатическую камеру попадает дополнительная энергия. Конденсацию влаги на внутренней поверхности стенок климатической камеры можно свести к минимуму путем их лучшей теплоизоляции. Так как найти точное количество конденсируемой на поверхности тестовых приборов влаги не представляется возможным, то точное количество испаряемой воды и зависящее от него количество вносимой с паром энергии не поддается математическому описанию. Следует учесть, что конденсация влаги на поверхности тестовых приборов происходит только в период, пока температура поверхности тестовых приборов не достигнет температуры точки росы для данных параметров среды, то есть в первой половине операции испытания. Далее конденсация прекращается, и необходимость в испарении воды для увлажнения воздуха в климатической камере отпадает.

Также математически не описывается и коэффициент теплоемкости влажного воздуха ($c_{\text{возд}}$), зависящий от его температуры и влажности.

Таким образом, для расчета термодинамических процессов в климатической камере и анализа работы проектируемой системы управления на ЭВМ необходимо принять меры по обеспечению возможности данного расчета, так как расчет на ЭВМ по полной математической модели не представляется возможным.

В связи с этим были приняты следующие упрощения и допущения:

Учитывая, что температура воздуха в климатической камере в установившемся режиме работы поддерживается системой управления в установленных пределах относительно заданной температуры ($T_{\text{зад}}$), то параметры воздуха для нахождения критериев подобия берутся при неизменной температуре, равной заданной температуре ($T_{\text{зад}}$) в климатической камере.

Коэффициент теплоемкости влажного воздуха рассчитывается для заданных значений его температуры и относительной влажности.

Энергия, вносимая с паром, не учитывается. Это возможно благодаря допущению о полном отсутствии конденсации в установившемся режиме работы климатической камеры.

Климатическая камера считается абсолютно герметичной.

Давление воздуха в климатической камере постоянное ($p=\text{const}$).

Рассматривается нагрев и охлаждение термически тонких тел ($\alpha \ll \lambda/\delta$).

Система поддержания влажности не рассматривается.

Уравнение теплового баланса климатической камеры:

$$Q_{\text{возд}} = Q_{\text{тэн}} - Q_{\text{тест.}} - Q_{\text{ст}}, \quad (2.3.21)$$

где $Q_{\text{возд}}$ - теплота затрачиваемая на прогрев воздуха;

$Q_{\text{тэн}}$ - тепловой поток с поверхности ТЭНов;

$Q_{\text{тест.}}$ - количество теплоты, идущее на прогрев тестовых приборов;

$Q_{\text{ст}}$ - потеря тепла через стенки.

Распишем все составляющие этого уравнения.

Теплота, затрачиваемая на прогрев воздуха может быть описана как:

$$Q_{\text{возд}} = c_{\text{возд}} \cdot m_{\text{возд}} \cdot (dT_{\text{возд}} / dt), \quad (2.3.22)$$

откуда:

$$\frac{dT_{\text{возд}}}{dt} = \frac{Q_{\text{возд}}}{c_{\text{возд}} \cdot m_{\text{возд}}}, \quad (2.3.23)$$

где $dT_{\text{возд}}/dt$ - скорость изменения температуры воздуха.

$c_{\text{возд}}$ - теплоемкость воздуха:

$$c_{\text{возд}} = (c_{\text{в}} + c_{\text{п}} \cdot d_{\text{в}}/1000), \quad (2.3.24)$$

где $c_{\text{в}}$ - теплоемкость сухого воздуха, при температуре 40°C :

$$c_{\text{в}} = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{гр});$$

$c_{\text{п}}$ - теплоемкость перегретого пара:

$$c_{\text{п}} = 2000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{гр});$$

$d_{\text{п}}$ - влагосодержание воздуха, при температуре 40°C и относительной влажности 75% оно равно:

$$d_{\text{п}} = 36,9 \text{ г}/\text{кг};$$

Таким образом:

$$c_{\text{возд}} = (1005 + 2000 \cdot 36,9/1000) = 1079 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{гр});$$

$m_{\text{возд}}$ - масса воздуха в климатической камере;

$$m_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}} \cdot V_{\text{возд}}, \quad (2.3.25)$$

где $\rho_{\text{возд}}$ - плотность влажного воздуха в климатической камере, при температуре 40°C и относительной влажности 75%:

$$\rho_{\text{возд}} = 1,11 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$V_{\text{возд}}$ - объем воздуха в климатической камере:

$$V_{\text{возд}} = 2 \text{ м}^3;$$

Таким образом:

$$m_{\text{возд}} = 1,11 \cdot 2 = 2,22 \text{ кг};$$

Тепловой поток с поверхности ТЭНа описывается с помощью уравнения конвективной теплопередачи:

$$Q_{\text{ТЭН}} = K_{\text{ТЭН}} \cdot (T_{\text{ТЭН}} - T_{\text{возд}}), \quad (2.3.26)$$

где $T_{\text{ТЭН}}$ - температура ТЭНа;

$T_{\text{возд}}$ - температура циркулирующего воздуха в климатической камере.

$K_{\text{ТЭН}}$ - коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{ТЭН}} = \alpha_{\text{ТЭН}} \cdot S_{\text{ТЭН}}, \quad (2.3.27)$$

где $S_{\text{ТЭН}}$ - площадь поверхности ТЭНа:

$$S_{\text{ТЭН}} = l_{\text{ТЭН}} \cdot \pi \cdot d_{\text{ТЭН}}, \quad (2.3.28)$$

где $l_{\text{ТЭН}} = 1,95 \text{ м}$ - длина ТЭНа;

$d_{\text{ТЭН}} = 0,013 \text{ м}$ - диаметр ТЭНа,

Откуда:

$$S = (\pi \cdot D) \cdot L = 3,14 \cdot 1,3 \cdot 195 = 796 \text{ см}^2,$$

$\alpha_{\text{ТЭН}}$ - коэффициент теплоотдачи ТЭНов. Данный коэффициент рассчитывается по критериальному уравнению:

$$Nu = 0,238 \cdot Re_f^{0,6}, \quad (2.3.29)$$

где Re_f - число Рейнольдса, вычисляемое:

$$Re_f = v \cdot d_{\text{ТЭН}} / \nu, \quad (2.3.30)$$

где v - скорость потока воздуха:

$$v = 5 \text{ м/с}$$

$d_{\text{ТЭН}}$ - диаметр ТЭНа - определяющий размер:

$$d_{\text{ТЭН}} = 0,013 \text{ м};$$

ν - коэффициент кинематической вязкости, для воздуха при температуре 40°C :

$$\nu = 16,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Таким образом:

$$\text{Re}_f = 5 \cdot 0,013 / 16,96 \cdot 10^{-6} = 3833,$$

Следовательно:

$$\text{Nu} = 0,238 \cdot 3833^{0,6} = 33,6 ,$$

Откуда:

$$\alpha_{\text{ТЭН}} = \text{Nu} \cdot \lambda / d_{\text{ТЭН}} , \quad (2.3.31)$$

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, при температуре 40°C:

$$\lambda = 2,76 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{гр}),$$

Значит:

$$\alpha_{\text{ТЭН}} = 33,6 \cdot 2,76 \cdot 10^{-2} / 0,013 = 71,34 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{гр}).$$

Таким образом:

$$K_{\text{ТЭН}} = 71,34 \cdot 7,96 = 567,86 \text{ Вт}/\text{гр}$$

и

$$Q_{\text{ТЭН}} = 567,86 \cdot (T_{\text{ТЭН}} - T_{\text{возд}}). \quad (2.3.32)$$

При этом, излишки энергии ТЭНа идут на изменение их температуры:

$$\frac{dT_{\text{ТЭН}}}{dt} = \frac{P_{\text{ТЭН}} - Q_{\text{ТЭН}}}{c_{\text{ТЭН}} \cdot m_{\text{ТЭН}}}, \quad (2.3.33)$$

где dT/dt - скорость изменения температуры ТЭНа;

$P_{\text{ТЭН}}$ - мощность ТЭНа.

$$P_{\text{ТЭН}} = 3,98 \text{ кВт}$$

Обоснование выбора такой мощности ТЭНа приведено на странице 26.

$Q_{\text{ТЭН}}$ - тепловой поток с поверхности ТЭНа;

$c_{\text{ТЭНа}}$ - теплоемкость материала ТЭНа, для ТЭНа изготовленных из нержавеющей стали:

$$c_{\text{ТЭНа}} = 470 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{гр});$$

$$m_{\text{ТЭНа}} = \rho_{\text{ТЭНа}} \cdot l_{\text{ТЭНа}} \cdot \pi \cdot d_{\text{ТЭНа}}^2 / 4, \quad (2.3.34)$$

где $l_{\text{ТЭНа}} = 1,95 \text{ м}$ - длина ТЭНа;

$m_{\text{ТЭНа}}$ - масса ТЭНа.

$d_{\text{ТЭНа}} = 0,013 \text{ м}$ - диаметр ТЭНа,

$\rho_{\text{ТЭНа}} = 7100 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Откуда:

$$m_{\text{ТЭНа}} = 7100 \cdot 1,95 \cdot \pi \cdot (0,013)^2 / 4 = 1,84 \text{ кг [19]}.$$

2.4 Выбор бесконтактных коммутационных элементов для напряжения питания переменного тока

Блоки симисторные (тиристорные) БС предназначены для бесконтактной коммутации силовых цепей в системах регулирования и автоматики. Блоки симисторные (тиристорные) БС рекомендуется применять для управления ТЭНами и холодильными агрегатами в системах регулирования.

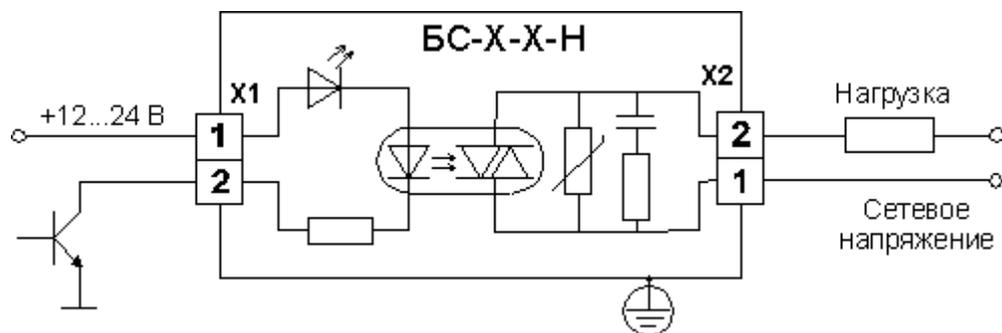


Рисунок 10 – Функциональная схема блока симисторного (тиристорного) БС

Таблица 8 – Технические характеристики симисторного блока БС

Потребляемый ток по цепи управления, не более	15мА	
Сигналы управления		
Симистор открыт	12...24В	
Симистор закрыт	0...1В	
Диапазон напряжений коммутации	БС-240-Х-Н	БС-440-Х-Н
	60...240В, 40...70Гц	60...440В, 40...70Гц
	от 0 до 30 °С	при 50 °С
БС-Х-15/10-Н	15А	10А
БС-Х-25/15-Н	25А	15А
БС-Х-40/25-Н	40А	25А
БС-Х-63/40-Н	63А	40А
Момент открытия симистора:	При переходе напряжения через ноль	
Тип нагрузки	Резистивная, индуктивная (cos j не менее 0,97)	
Пробивное напряжение изоляции симистор - вход управления, симистор - корпус блока	2500В 50Гц (в течение 1 минуты)	
Габариты		
БС-Х-15/10-Н, БС-Х-25/15-Н, БС-Х-40/25-Н	128 x 99 x 84 мм	
БС-Х-63/40-Н	134 x99 x 84 мм	
Условия эксплуатации		
температура	0...50 °С	
режим эксплуатации	Продолжительный	
влажность	80% при 35 °С	
Масса, не более	1 кг	
Гарантия	36 месяцев	

Для системы управления климатической камерой выбираем блок симисторный (тиристорный) с коммутируемым напряжением 240 В, максимальный ток нагрузки 25 А при температуре окружающего воздуха не более 30 С, 15 А при температуре окружающего воздуха не более 50 С, момент коммутации при переходе напряжения нагрузки через ноль, Модель БС-240-25/15-Н [20].

Потребляемый ток по цепи управления бесконтактного коммутационного элемента Модель БС-240-25/15-Н удовлетворяет требованию максимально допустимого тока нагрузки устройств управления МПР51-Щ4.

Это означает, что выход МПР 51-Щ4 соответствует входу бесконтактного коммутационного элемента Модель БС-240-25/15-Н.

2.5 Алгоритм работы системы управления климатической камерой КТК-3000

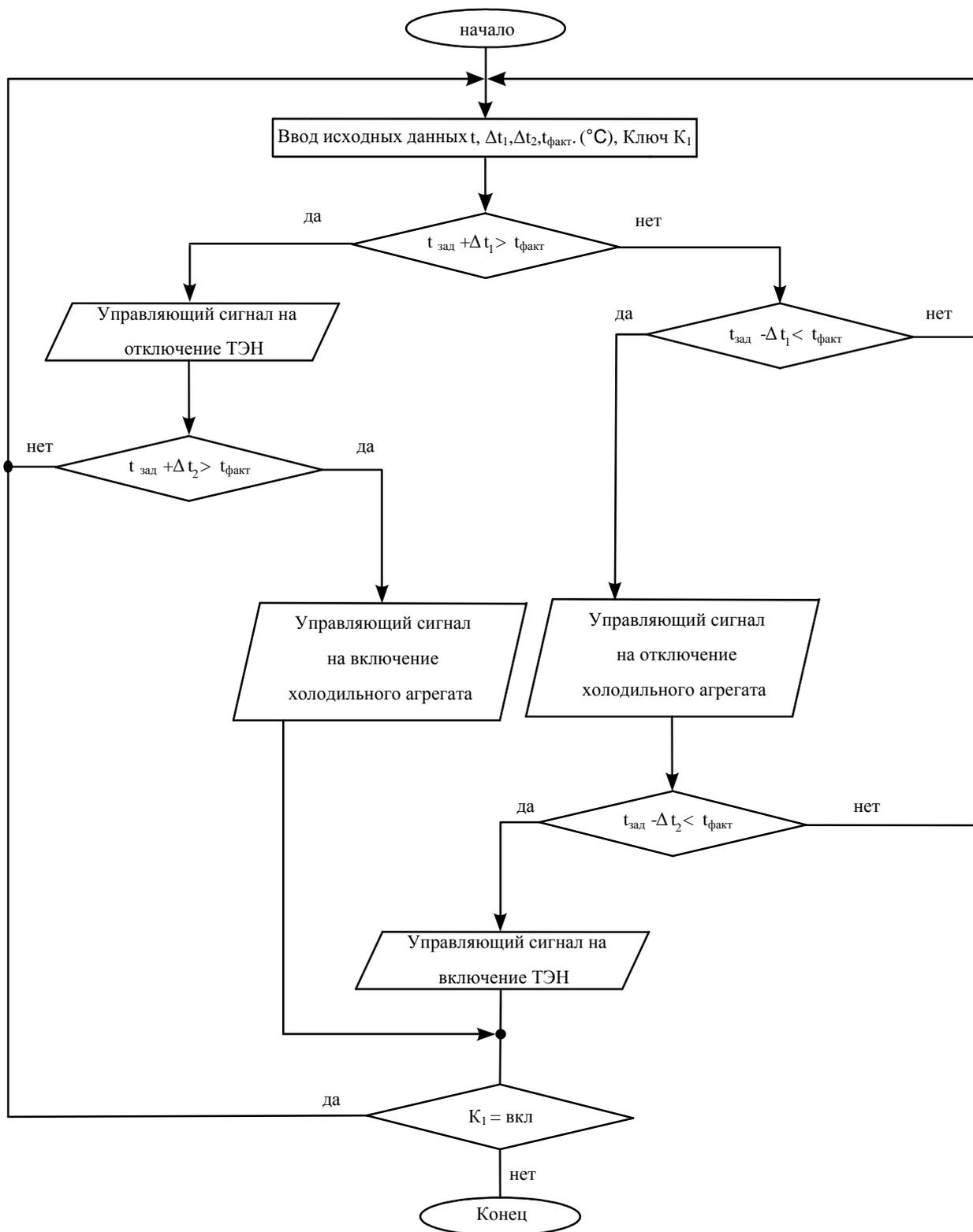


Рисунок – 11 Алгоритм работы цикла регулирования температуры

Программируемые параметры регулятора температуры МПР 51 - Щ4 приведены в (приложение Б).

2.6 Функциональная схема САР температуры

Функциональная схема САР показывает, из каких функциональных элементов она состоит и как связаны эти элементы.

На рисунке 12 приведена функциональная схема САР температуры.

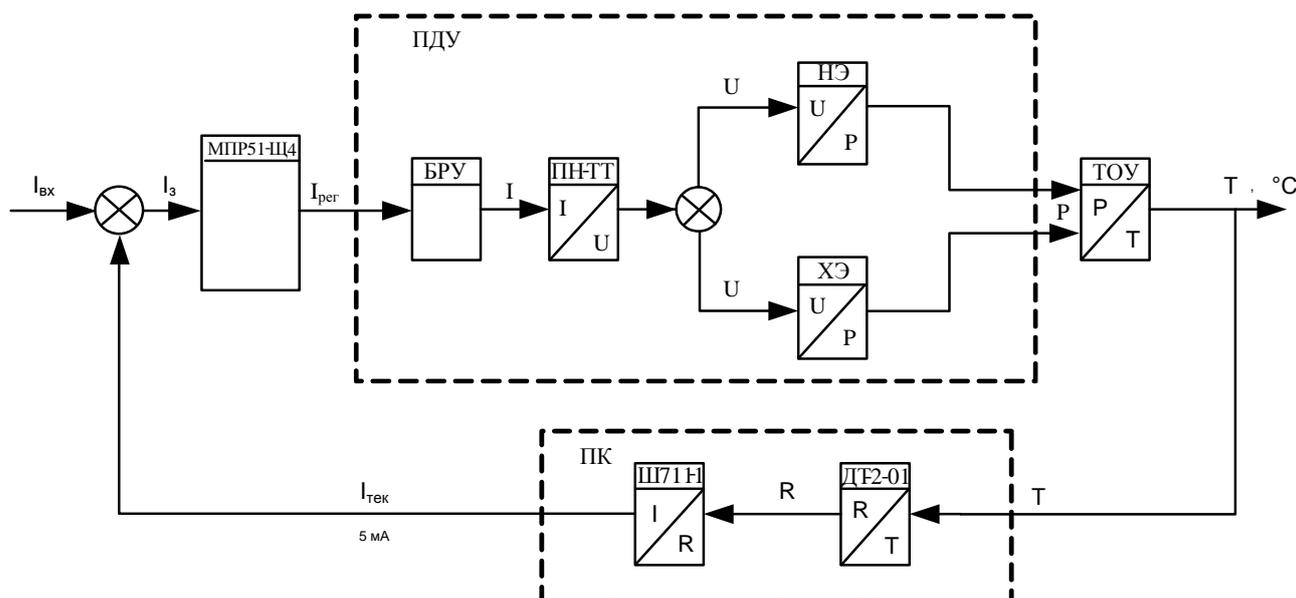


Рисунок 12 – Функциональная схема САР температуры

Обозначения на функциональной схеме САР температуры:

ТОУ - технологический объект управления;

ДТ - датчик температуры;

Ш711-1 - преобразователь сопротивления в ток;

МПР 51 - Щ4 - программный регулятор температуры и влажности;

БРУ - блок ручного управления;

ПН-ТТЕ-63 - преобразователь напряжения;

НЭ - нагревательный элемент;

ХЭ - холодильный элемент;

ПДУ - подсистема дистанционного управления;

ПК - подсистема контроля.

Каждый блок функциональной схемы выполняет определенную функцию. При упрощенном рассмотрении функциональной схемы САР температуры в нее будут входить только: ТОУ, ПДУ, ПК и ПР. Где ПР - программный регулятор температуры и влажности. Упрощенная функциональная схема САР приведена на рисунке 13.

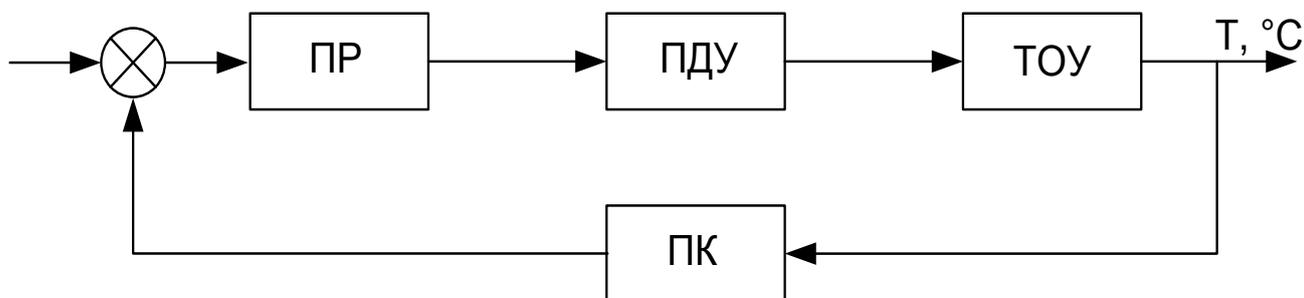


Рисунок 13 – Упрощенная функциональная схема САР

ПК - подсистема контроля, состоит из датчика температуры ДТ-2-1 и преобразователя Ш711-1. ПК преобразует значение температуры в унифицированный токовый сигнал. ПК нужна также для получения информации о ТОУ, что способствует правильному управлению ТОУ. Итак, с выхода ТОУ температура поступает на ДТ-2-1 и преобразуется по линейному закону в сопротивление, которое является входным значением для Ш711-1. Ш711-1 преобразовывает значение сопротивления в унифицированный токовый сигнал 0-5 мА, который в свою очередь поступает на ПР. В качестве ПР используется программный регулятор температуры и влажности МПР 51 - Щ4. С помощью МПР 51 - Щ4 задаются значения уставок и осуществляется регулирование по ПИД - закону. Выходной сигнал МПР 51 - Щ4 представляет собой унифицированный токовый сигнал 0-5 мА, поступающий на БРУ, который входит в ПДУ. БРУ предназначен для перехода на ручное управление и управление процессом вручную. Кроме БРУ в ПДУ, которая предназначена для преобразования сигнала управления в регулирующее воздействие, непосредственно влияющее на ТОУ, входят также ПН-ТТЕ-63, НЭ и ХЭ. После БРУ токовый сигнал поступает на ПН-ТТЕ-63, который преобразует входной сигнал в переменное напряжение 380 В. В свою очередь, переменное напряжение поступает на НЭ и ХЭ, который непосредственно воздействует на

объект управления. Таким образом, осуществляется регулирование температуры в корпусе климатической камеры, емкостью, объемом 2 м³.

2.7 Описание функциональных элементов САР

2.7.1 Преобразователь напряжения ПН-ТТЕ-63

ПН-ТТЕ-63 – преобразователь напряжения трехфазный тиристорный с номинальным выходным током 63 А. Преобразователи этой серии (ПН-ТТ) предназначены для питания трехфазным током активных, активно-индуктивных и индуктивных нагрузок, допускающих фазовое регулирование напряжения, резко переменных нагрузок. Основной нагрузкой преобразователей являются нагреватели трехфазных электропечей сопротивления. Принцип действия ПН-ТТ основан на способности тиристорov изменять значение тока и напряжения нагрузки в зависимости от момента подачи импульсов управления при питании их переменным синусоидальным напряжением. Тиристоры могут работать в режиме переключаемого контакта, то есть включаться (с плавным стартом) при подаче импульсов и выключаться при снятии импульсов с управляющих электродов. Система управления ПН-ТТ предназначена для формирования и сдвига по фазе импульсов управления тиристорами, а также для реализации функций управления, защиты и сигнализации.

Технические данные ПН-ТТ приведены в (приложение А) [21].

2.7.2 Датчик температуры ДТ-2-1

Датчик температуры ДТ-2-1 предназначен для измерения температуры Датчик температуры (ДТ-2-1) предназначен для измерения температуры поверхности окружающей среды объемом 2 м³ и представляет собой микросхему DS1820. Устройство выдает информацию о значении измеренной температуры по интерфейсу 1-Wire.

Таблица 9 – Технические характеристики датчика температуры

напряжение питания	+3...5,5 В, постоянное
потребляемая мощность, не более	10 мВт при напряжении питания +5,5 В
рабочий температурный диапазон	от минус 80°С до плюс 125°С
максимальная погрешность измерения температуры	±0.5 °С (в диапазоне от минус 10 до +85 °С)
	±2 °С (в диапазоне от минус 80 до +125 °С)

Первичным чувствительным элементом является чувствительный элемент серийного термосопротивления ТСП-763. Датчик имеет стандартную градуировку, соответствующую градуировке группы 21 ГОСТ 6651-59 [22].

2.7.3 Преобразователь сопротивление-ток

В качестве преобразователя сопротивление-ток используется МИП - многоканальный измерительный преобразователь Ш711-1, который предназначен для преобразования выходных аналоговых электрических сигналов первичных преобразователей (датчиков) температуры, а также сигналов напряжения и силы постоянного тока в кодированный электрический сигнал, обеспечивающий обмен информации с ЭВМ, терминальными и печатающими устройствами по стандартным интерфейсам.

МИП также обеспечивает следующие дополнительные функции:

- преобразование выходного кодированного сигнала в унифицированные аналоговые сигналы постоянного тока, масштабное преобразование выходного кодированного сигнала;

- сравнение результатов преобразования в кодированный сигнал с заданными значениями (уставками), сигнализацию отклонений, программирование режимов работы;

МИП предназначен для работы со следующими видами первичных преобразователей (ПП):

а) термопары (преобразователи термоэлектрические) с номинальными статическими характеристиками типов ВР(А)-1, ВР(А)-2, ВР(А)-3, ПР(В), ПП(S), ХА(К), ХК(С), МК(М), по ГОСТ 3044-84;

б) термопреобразователи сопротивления (ТС) ГСП с номинальными статическими характеристиками типов 100П (Pt100) с $W_{100}=1,391$; 50П (Pt50) с $W_{100}=1,391$; 100М (Cu100) с $W_{100}=1,428$; 50М (Cu50) с $W_{100}=1,428$ по ГОСТ 6651-84;

в) с ПП с унифицированными выходными сигналами 0-5, 0-20, 4-20 мА и 0-100 мВ по ГОСТ 26.011-80.

ПП подключаются к входным цепям МИП с помощью линий связи, имеющих электрическую защиту от помех. В приложении В приведены основные технические характеристики МИП [23].

2.8 Структурная схема САУ температуры

Для математического описания САУ вводится понятие структурной схемы САУ и понятие динамического звена.

Динамическим звеном САУ называется часть системы управления, описываемая дифференциальным уравнением или иным уравнением определенного вида.

Структурная схема САУ показывает, из каких динамических звеньев она состоит и как они между собой взаимосвязаны. Математическое описание САУ включает два этапа:

- а) математическое описание каждого динамического звена;
- б) составление математического описания всей системы в целом.

Структурная схема представляет собой графическое изображение системы дифференциальных уравнений, описывающих САУ.

На рисунке 14 приведена структурная схема САУ.

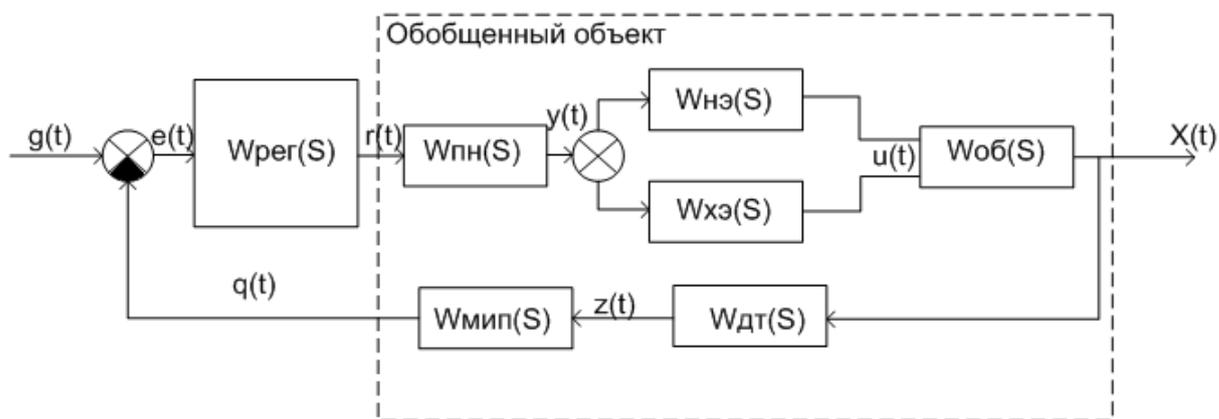


Рисунок 14 – Структурная схема САУ

На рисунке 14 приведены следующие обозначения:

$W_{дт}(S)$ – передаточная функция датчика температуры;

$W_{мип}(S)$ – передаточная функция многоканального измерительного преобразователя Ш 711-1;

$W_{рег}(S)$ – передаточная функция регулятора МПР 51-Щ4;

$W_{пн}(S)$ – передаточная функция преобразователя ПН-ТТЕ-63;

$W_{нэ}(S)$ – передаточная функция нагревательного элемента;

$W_{хэ}(S)$ – передаточная функция холодильного элемента;

$W_{об}(S)$ – передаточная функция объекта управления.

Структурная схема, в отличие от функциональной, может быть подвержена различным преобразованиям. Кроме дифференциальных уравнений, описывающих динамические звенья, могут также использоваться передаточные функции. Передаточная функция - это просто другая форма описания динамического звена. Передаточная функция динамического звена есть отношение изображения Лапласа-Карсона выходной координаты звена к соответствующему изображению входной координаты звена при нулевых начальных условиях.

Математическое описание функциональных элементов САУ заключается в представлении их соответствующими динамическими звеньями. В соответствии с общими правилами динамического описания функциональных элементов коэффициенты дифференциальных уравнений

(передаточные функции этих звеньев) рассчитываются на основании технических характеристик данных функциональных элементов, взятых из паспортов этих устройств.

Важно также отметить, что инерционность ТОО превышает инерционность остальных функциональных элементов. В связи с этим инерционностью остальных функциональных элементов пренебрегают. Если бы данное условие не выполнялось, например, инерционность ДТ-2-1 была сравнима с инерционностью ТОО, то необходимо было бы представить ДТ-2-1 звеном первого порядка. Итак, все функциональные элементы, кроме ТОО, могут быть представлены безынерционными, то есть пропорциональными звеньями, и, следовательно, описание функциональных элементов сводится к определению их коэффициентов передачи.

Определим передаточные функции звеньев структурной схемы САР.

а) передаточная функция датчика температуры ДТ-2-1 ($W_{\text{ДТ}}(S)$) можно определить как коэффициент передачи $K_{\text{ДТ}}$, то есть:

$$W_{\text{ДТ}}(S) = K_{\text{ДТ}} = \frac{R}{T} = \frac{73,03}{100} = 0,73 \frac{\text{Ом}}{^{\circ}\text{C}}. \quad (2.8.1)$$

б) передаточная функция МИП (Ш 711-1) также определяется коэффициентом передачи $K_{\text{МИП}}$, то есть:

$$W_{\text{МИП}}(S) = K_{\text{МИП}} = \frac{I}{R} = \frac{5}{73,03} = 0,068 \frac{\text{мА}}{\text{Ом}}. \quad (2.8.2)$$

в) передаточная функция преобразователя напряжения (ПН-ТТЕ-63):

$$W_{\text{ПН}}(S) = K_{\text{ПН}} = \frac{U}{I} = \frac{380}{5} = 76 \frac{\text{В}}{\text{мА}}. \quad (2.8.3)$$

г) передаточная функция нагревательного элемента:

$$W_{\text{НЭ}}(S) = K_{\text{НЭ}} = \frac{P_{\text{НЭ}}}{U} = \frac{3,98}{380} = 0,0104 \frac{\text{кВт}}{\text{В}}. \quad (2.8.4)$$

д) передаточная функция холодильного элемента:

$$W_{ХЭ}(S) = K_{ХЭ} = \frac{P_{ХЭ}}{U} = \frac{3,515}{380} = 0,00925 \frac{\kappa Bm}{B}. \quad (2.8.5)$$

е) передаточная функция обратной связи:

$$W_{ОС}(S) = W_{ДТ}(S) * W_{МИП}(S) = 0,73 * 0,068 = 0,049 \frac{mA}{^{\circ}C}. \quad (2.8.6)$$

Теперь необходимо представить САУ как совокупность обобщенного объекта и управляющего устройства (регулятора).

В САУ вводится понятие обобщенного объекта управления (в отличие от ТОУ), который включает в себя ТОУ и все остальные функциональные элементы кроме регулятора. Тогда структурная схема САУ будет иметь вид, показанный на рисунке 15 [24].

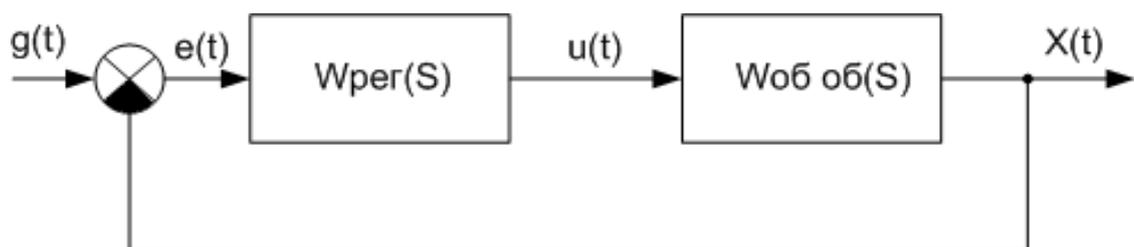


Рисунок 15 – Структурная схема САУ

где $W_{ОБ ОБ}(S)$ – передаточная функция обобщенного объекта;

$W_{РЕГ}(S)$ - передаточная функция регулятора.

Передаточная функция обобщенного объекта определяется по формуле:

$$W_{ОБ ОБ}(S) = W_{ДТ}(S) * W_{МИП}(S) * W_{ПН}(S) * W_{НЭ}(S) * W_{ХЭ}(S) * W_{ОБ}(S) \quad (2.8.7)$$

2.8.1 Идентификация объекта управления

Для обеспечения устойчивой работы САУ климатической камеры с удовлетворительными показателями качества управления требуется рассчитать наилучшие значения параметров регулирующего устройства. Для этого, в

первую очередь, необходимо определить статические и динамические характеристики объекта управления.

В общем виде технологический объект управления (ТОУ) рассматривается как звено, имеющее выходную координату $y(t)$, которая является управляемой переменной, и входную переменную $x(t)$, которая является управляющим воздействием (рисунок 16).



Рисунок 16 – Технологический объект управления

Наиболее распространенным и эффективным способом определения статических и динамических характеристик объекта является исследование реакции объекта управления на скачкообразное изменение входной переменной.

Кривой разгона звена называется зависимость выходной величины $x_{\text{ВЫХ}}$ от времени ($x_{\text{ВЫХ}} = f(t)$) при скачкообразном изменении входной величины $x_{\text{ВХ}}$. При этом входная величина после скачкообразного изменения остаётся постоянной.

Кривая разгона (кривая переходного процесса) является одной из основных динамических характеристик звена.

В данной работе снимается кривая разгона климатической камеры (смотри рисунок 17).

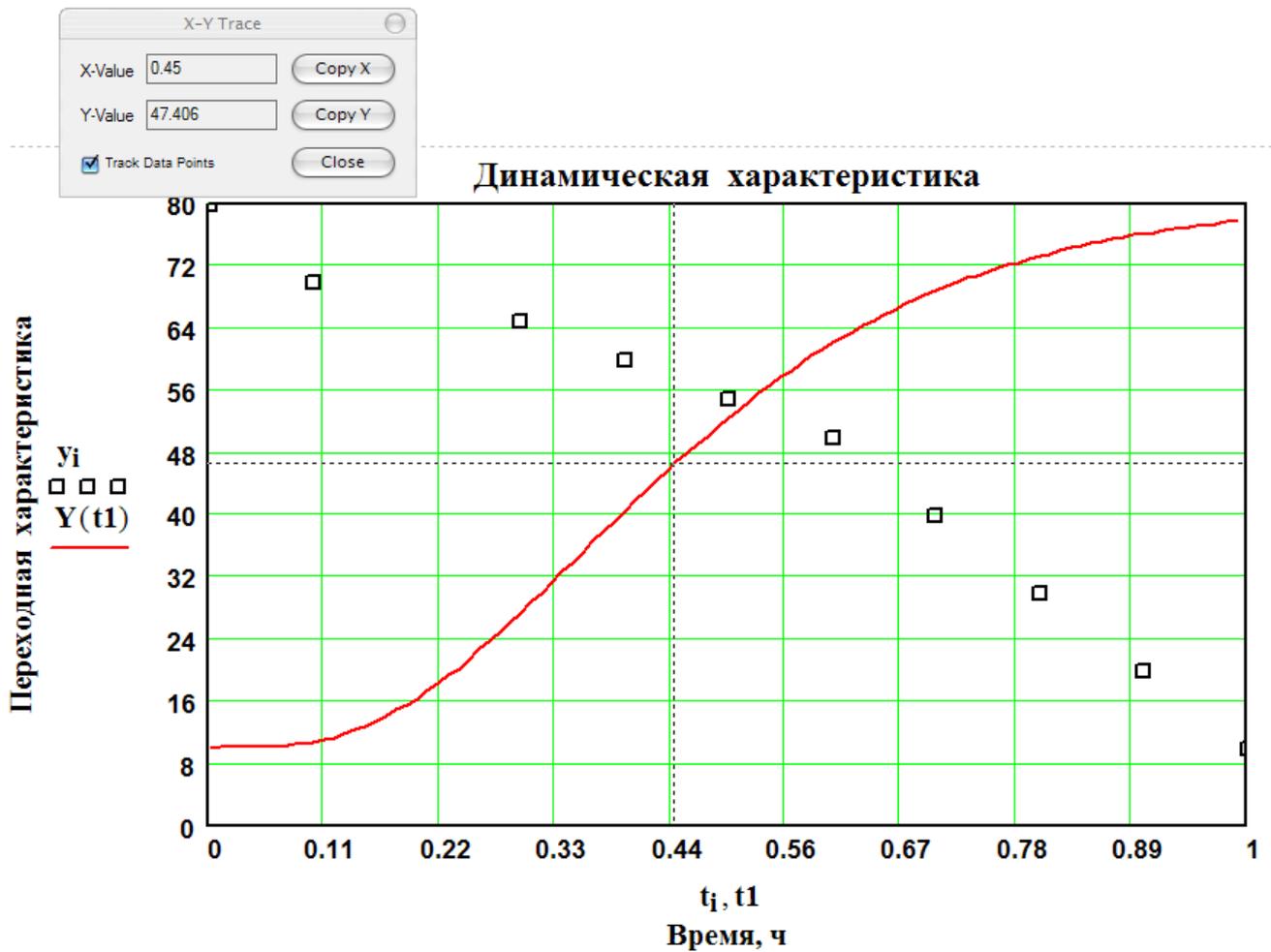


Рисунок 17 – Кривая разгона климатической камеры

На рисунке 17: $y(t_0) = 0$, $y(\infty) = 75$ °С, $x(0) = 15\%$, $x(\infty) = 30\%$, где $x(\infty)$ и $x(0)$ скачкообразное изменение выходного сигнала регулятора с 30% до 15%

Порядок определения характеристик объекта управления.

1) определяем коэффициент передачи объекта k по значениям входной и выходной переменных в установившихся режимах:

$$k = \frac{y(\infty) - y(0)}{x(\infty) - x(0)} = \frac{75 - 0}{30 - 15} = 5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}. \quad (2.8.1.1)$$

2) определяем значение y_1 по формуле:

$$y_1 = 0,632 \cdot y(\infty) = 0,632 \cdot 75 = 47,4^{\circ}\text{C}. \quad (2.8.1.2)$$

3) находим по графику (смотри рисунок 17) значение времени $t_1 = 0,45$ ч. и определяем постоянную времени работы объекта T .

$$T = t_1 = 0,45 \text{ ч.}$$

Составим дифференциальное уравнение. Для вывода дифференциального уравнения климатической камеры запишем уравнение теплового баланса:

$$Cd\Theta + A\Theta dt = Qdt, \quad (2.8.1.3)$$

где C - теплоёмкость климатической камеры (энергия, которую нужно сообщить камере для увеличения или понижения её температуры на 1°C), кал/град;

Θ - разница температуры воздуха в камере над температурой окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

A - теплопередача нагревательного элемента (энергия, которая отдаётся нагревательным элементом в камеру в одну секунду на 1°C разности температуры нагревательного элемента и окружающей среды), кал/с., или холодопроизводительность, (количество теплоты, отнимаемое от охлаждаемого объекта в единицу времени с помощью холодильной машины), вт (ккал/ч);

Q – мощность нагрева, охлаждения, кал/с, ккал/ч. Поделив обе части уравнения (2.9.3) на $A dt$, получим:

$$T [d\Theta/dt] + \Theta = kQ. \quad (2.8.1.4)$$

Мощность нагрева или охлаждения является входной величиной для системы, т.е. $Q = x_{\text{ВХ}}$, разница температуры над окружающей средой Θ является выходной величиной, т.е. $\Theta = x_{\text{ВЫХ}}$, тогда дифференциальное уравнение термокамеры (5.8.7) примет вид:

$$T \frac{dx_{\text{ВЫХ}}}{dt} + x_{\text{ВЫХ}} = k \cdot x_{\text{ВХ}}. \quad (2.8.1.5)$$

или в операторной форме:

$$(Ts + 1)x_{\text{ВЫХ}} = k \cdot x_{\text{ВХ}}. \quad (2.8.1.6)$$

Из данного уравнения видно, что климатическая камера является аperiodическим звеном первого порядка. Решение этого уравнения имеет вид:

$$x_{\text{ВЫХ}} = Ce^{-t/T} + k. \quad (2.8.1.7)$$

Можно определить постоянную интегрирования C : при $t = 0$, $x_{\text{ВЫХ}} = 0$, $0 = C + k$, тогда $C = -k$, тогда аналитическое выражение кривой разгона имеет вид:

$$x_{\text{ВЫХ}} = k(1 - e^{-t/T}). \quad (2.8.1.8)$$

Графически это можно изобразить следующим образом (рисунок 18). На графике кривая разгона аperiodического звена первого порядка определяется экспонентой.

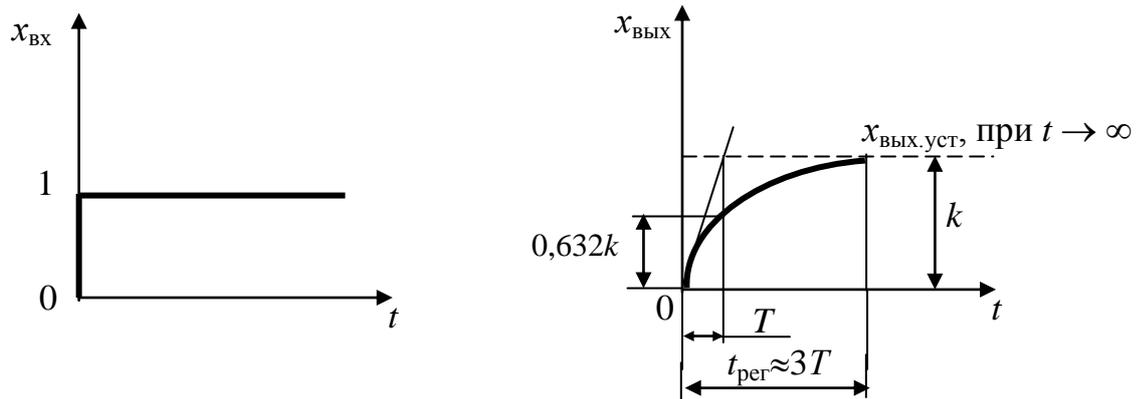


Рисунок 18 – Графическое определение характеристик аperiodического звена

Как видно из рисунка 18, в результате скачкообразного изменения входного воздействия $x_{\text{ВХ}}$ выходная величина $x_{\text{ВЫХ}}$ через некоторый промежуток времени приходит к новому равновесному состоянию [26-26].

Из уравнения (2.9.3), записанного в операторной форме, получим передаточную функцию аperiodического звена климатической камеры:

$$W_{OY}(s) = \frac{x_{\text{ВЫХ}}}{x_{\text{ВХ}}} = \frac{k}{[Ts + 1]}. \quad (2.8.1.9)$$

Таким образом, передаточная функция аperiodического звена объекта управления:

$$W_{OY}(s) = \frac{5}{[0.45s + 1]} \quad (2.8.1.10)$$

2.8.2 Моделирование САР температуры по контуру нагрева

Схема контура нагрева изображена на рисунке 19.

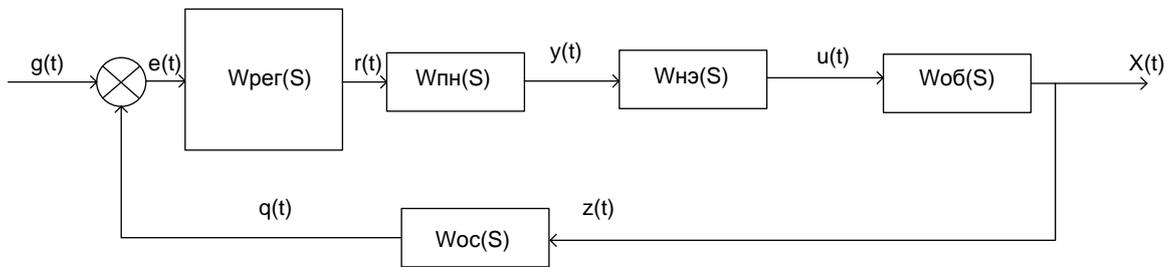


Рисунок 19 – Структурная схема контура нагрева

Схема контура нагрева с единичной обратной связью изображена на рисунке 20.

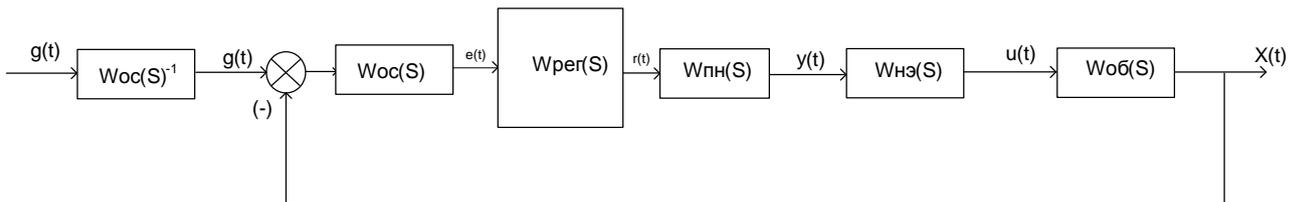


Рисунок 20 – Схема контура нагрева с единичной обратной связью

Настройка контура на оптимум по модулю подразумевает получение для разомкнутого контура передаточной функции следующего вида:

$$W_{\text{раз КН}}^{\text{BO}}(s) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)}, \quad (2.8.2.1)$$

Запишем передаточную функцию разомкнутого контура нагрева:

$$W_{\text{раз КН}}(s) = \frac{1}{W_{OC}} \cdot \frac{W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{HЭ} \cdot W_{OB}}{1 + W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{HЭ} \cdot W_{OB}} = \frac{W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{HЭ} \cdot W_{OB}}{1 + W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{HЭ} \cdot W_{OB}}$$

В качестве малой некомпенсированной постоянной времени контура нагрева T_{μ} примем постоянную времени апериодического звена:

$$T_{\mu} = T = 0.45, \text{ч}$$

Приравняем передаточную функцию разомкнутого контура нагрева к желаемой передаточной функции:

$$\frac{W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{НЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{ОС} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{НЭ} \cdot W_{ОБ}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)}$$

Получим передаточную функцию регулятора контура нагрева:

$$W_{per}(s) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)} \cdot \frac{W_{ПН} \cdot W_{НЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{ОС} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{НЭ} \cdot W_{ОБ}}. \quad (2.8.2.2)$$

Тогда передаточная функция регулятора контура нагрева примет вид:

$$W_{per}(s) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)} \cdot \frac{W_{ПН} \cdot W_{НЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{ОС} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{НЭ} \cdot W_{ОБ}}$$

$$W_{per}(s) = \frac{1}{2 \cdot 0,45 \cdot s \cdot (0,45 \cdot s + 1)} \cdot \frac{76 \cdot 0,0104 \cdot \frac{5}{0,45s + 1}}{1 + 0,049 \cdot 76 \cdot 0,0104 \cdot \frac{5}{0,45s + 1}}$$

$$W_{per}(s) = \frac{3.952}{s \cdot (0.4833 \cdot s + 1.0746)}$$

Таким образом, в качестве регулятора получили ПИ-регулятор.

2.8.3 Моделирование САР температуры по контуру охлаждения

Схема контура охлаждения изображена на рисунке 21.

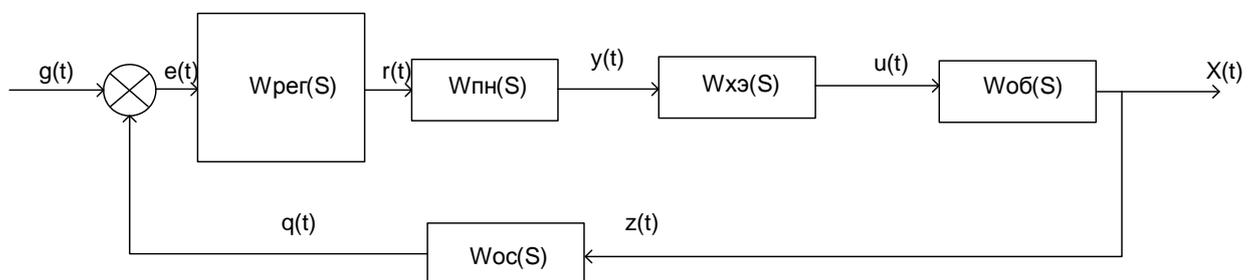


Рисунок 21 - Структурная схема контура охлаждения

Схема контура охлаждения с единичной обратной связью изображена на рисунке 22.

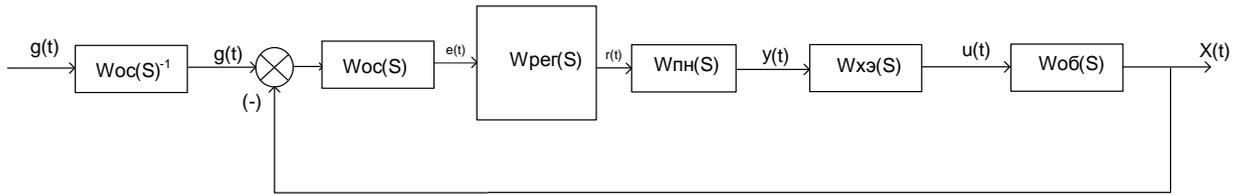


Рисунок 22 - Схема контура охлаждения с единичной обратной связью

Настройка контура на оптимум по модулю подразумевает получение для разомкнутого контура передаточной функции следующего вида:

$$W_{\text{раз КО}}^{\text{БО}}(s) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)}, \quad (2.8.3.1)$$

Запишем передаточную функцию разомкнутого контура охлаждения:

$$W_{\text{раз КО}}(s) = \frac{1}{W_{OC}} \cdot \frac{W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}} = \frac{W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}}$$

В качестве малой некомпенсированной постоянной времени контура охлаждения T_{μ} примем постоянную времени апериодического звена:

$$T_{\mu} = T = 0.45, \text{ч}$$

Приравняем передаточную функцию разомкнутого контура охлаждения к желаемой передаточной функции:

$$\frac{W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)}$$

Получим передаточную функцию регулятора контура охлаждения:

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)} \cdot \frac{W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}}{1 + W_{OC} \cdot W_{PEГ} \cdot W_{ПН} \cdot W_{ХЭ} \cdot W_{ОБ}}. \quad (2.8.3.2)$$

Тогда передаточная функция регулятора контура охлаждения примет вид:

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s \cdot (T_{\mu} \cdot s + 1)} \cdot \frac{W_{\text{ПН}} \cdot W_{\text{ХЭ}} \cdot W_{\text{ОБ}}}{1 + W_{\text{ОС}} \cdot W_{\text{ПН}} \cdot W_{\text{ХЭ}} \cdot W_{\text{ОБ}}}$$

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{1}{2 \cdot 0,45 \cdot s \cdot (0,45 \cdot s + 1)} \cdot \frac{76 \cdot 0,00925 \cdot \frac{5}{0,45p + 1}}{1 + 0,049 \cdot 76 \cdot 0,00925 \cdot \frac{5}{0,45p + 1}}$$

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{3.515}{s \cdot (0.475 \cdot s + 1.0548)}$$

Таким образом, в качестве регулятора получили ПИ-регулятор [27-28].

2.9 Моделирование в MATLAB

MATLAB - одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций. Матрицы являются основой автоматического составления и решения уравнений состояния динамических объектов и систем. Примером может служить расширение MATLAB - Simulink.

Возможности MATLAB весьма обширны, а по скорости выполнения задач система нередко превосходит своих конкурентов. Она применима для расчетов практически в любой области науки и техники. Важными достоинствами системы являются ее открытость и расширяемость.

Пакет расширения Simulink служит для имитационного моделирования моделей, состоящих из графических блоков с заданными свойствами (параметрами). Компоненты моделей, в свою очередь, являются графическими блоками и моделями, которые содержатся в ряде библиотек и с помощью мыши могут переноситься в основное окно и соединяться друг с другом необходимыми связями. В состав моделей могут включаться источники сигналов различного вида, виртуальные регистрирующие приборы, графические средства анимации. Двойной щелчок мышью на блоке модели

выводит окно со списком его параметров, которые пользователь может менять. Запуск имитации обеспечивает математическое моделирование построенной модели с наглядным визуальным представлением результатов. Пакет основан на построении блочных схем путем переноса блоков из библиотеки компонентов, в окно редактирования создаваемой пользователем модели.

Simulink составляет и решает уравнения состояния модели и позволяет подключать в нужные ее точки разнообразные виртуальные измерительные приборы.

С помощью пакета расширения Simulink была собрана модель реальной САУ температуры по нагреву и охлаждению, работающей с параметрами регулятора [29-30].

2.9.1 Структурные схемы контура нагрева и охлаждения

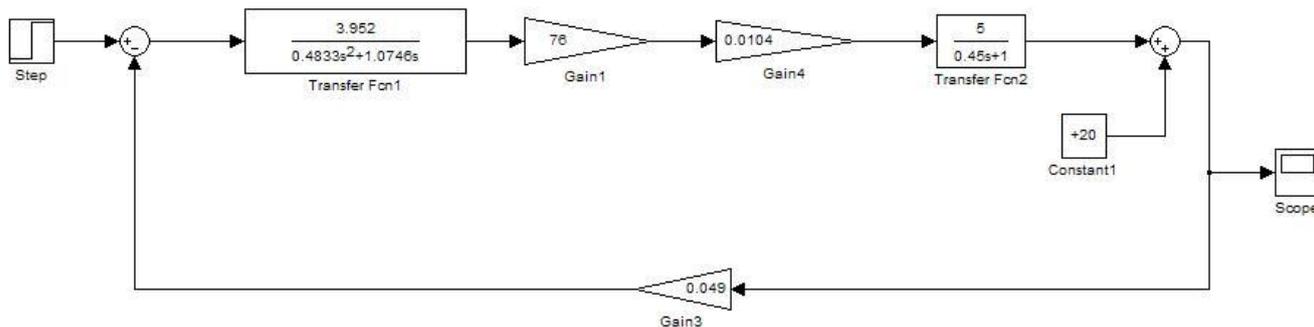


Рисунок 23 - Структурная схема контура нагрева

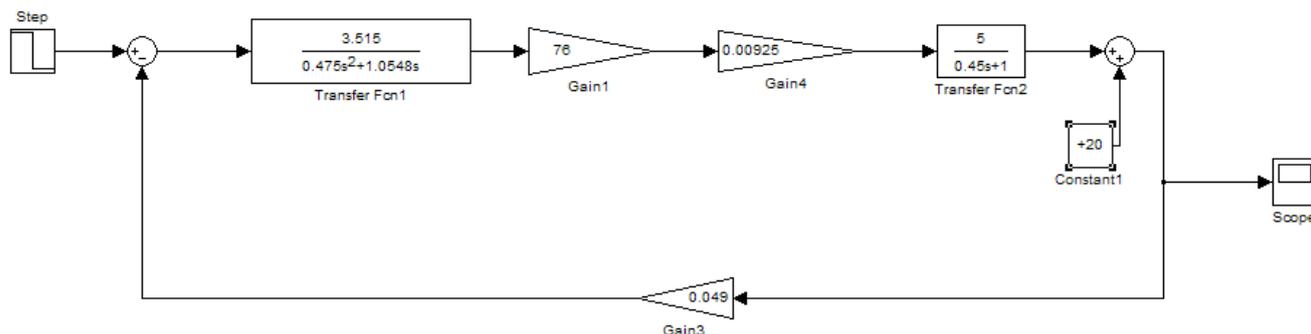


Рисунок 24 - Структурная схема контура охлаждения

Примечание – все значения постоянных времени при моделировании в Simulink взяты в часах.

На рисунках 23 и 24 используются следующие блоки пакета расширения Simulink:

“Step” – блок генерации ступеньки. С помощью данного блока задается значение уставки – 5 мА, соответствующее 100 °С;

“Gain” – блок, задающий усиление или ослабление входного сигнала по формуле:

$$U = k \cdot V , \quad (2.9.1)$$

где U – выходной сигнал;

V – входной сигнал;

k – коэффициент усиления, который задается в данном блоке.

“Transfer Fcn” - блок, реализующий передаточную функцию объекта управления, полученную при идентификации без запаздывания и коэффициента передачи;

“Scope” - графический блок, предназначен для регистрирования значений различных сигналов в зависимости от времени.

На рисунках 23 и 24 имеется суммирующее устройство, которое предназначено для формирования сигнала ошибки, поступающего на регулятор за счет формирования разности между заданным значением уставки и сигналом обратной связи. Также есть суммирующее устройство и блок генерации ступеньки, предназначенные для формирования исходного состояния комнатной температуры, которая составляет 20 °С.

Графики переходных процессов по контуру нагрева и охлаждения при ступенчатом управляющем воздействии и при отсутствии возмущающего воздействия на всем диапазоне регулирования приведены на рисунках 25 - 27 соответственно.

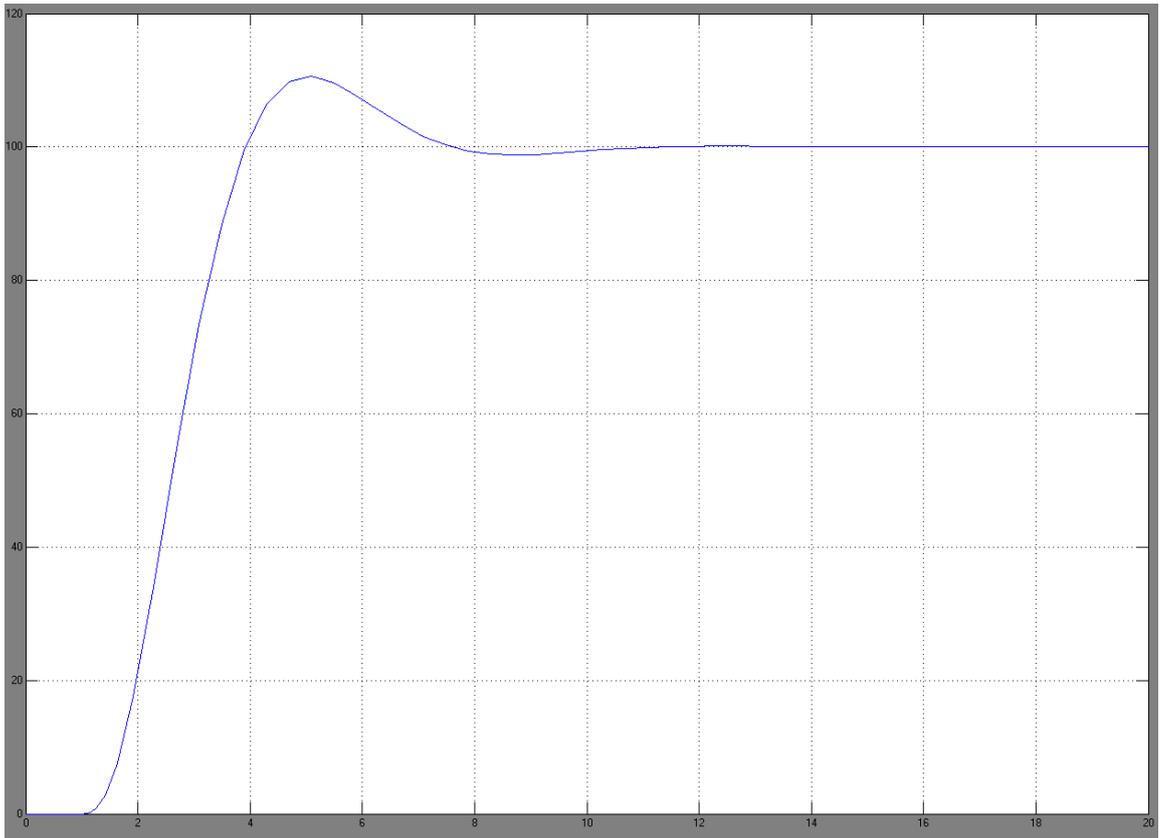


Рисунок 25 - График температуры при нагреве до максимума диапазона регулирования

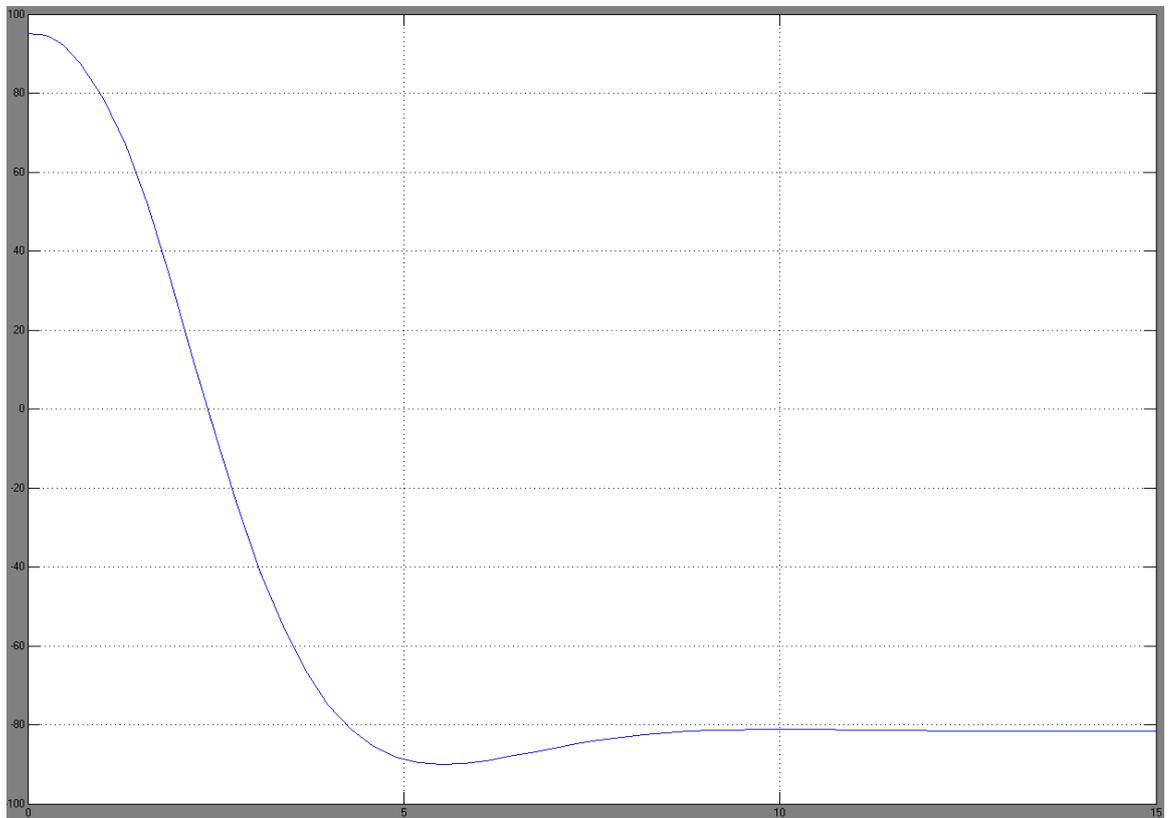


Рисунок 26 - График температуры при охлаждении до минимума диапазона регулирования

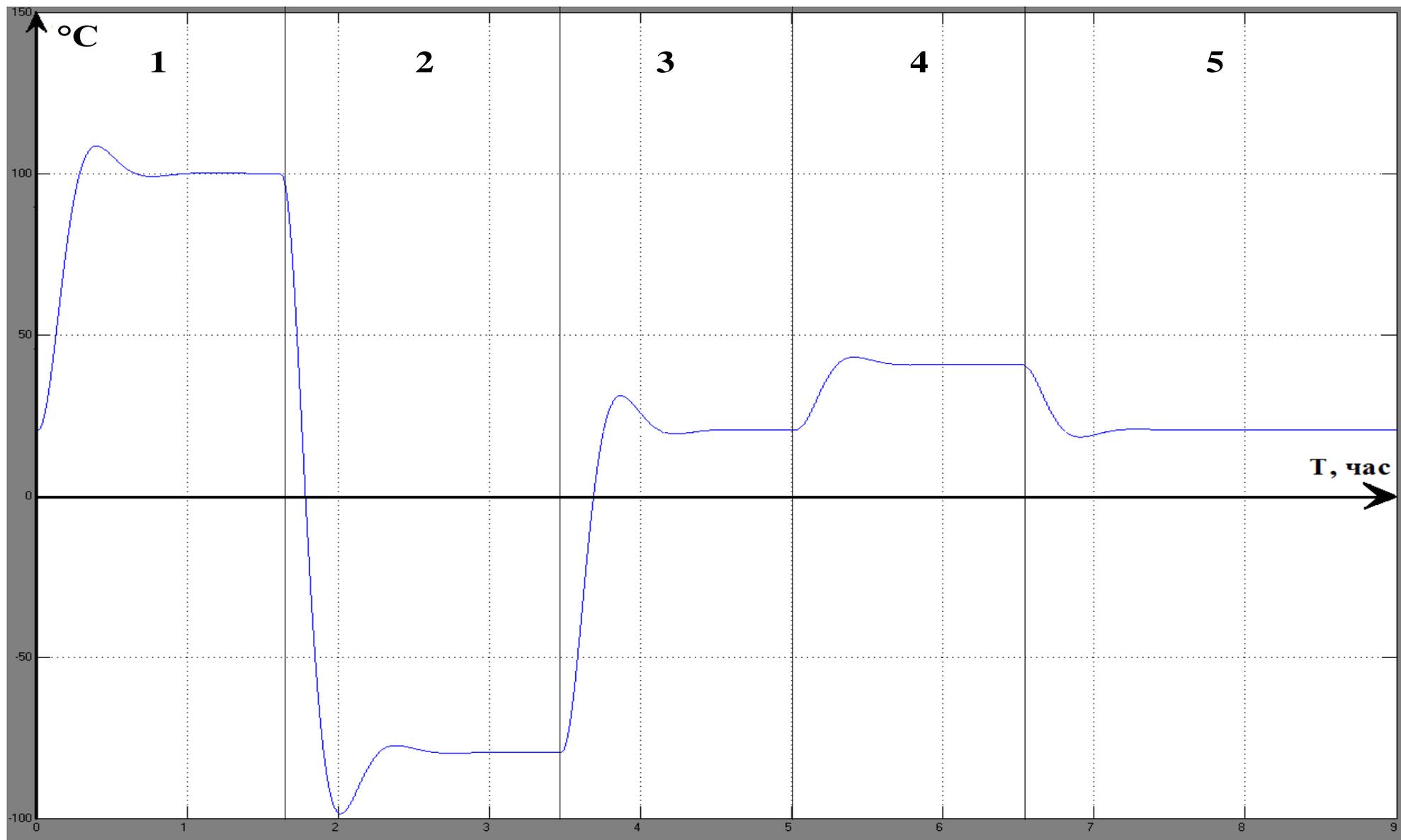


Рисунок 27 – Вид программы испытания моделирования

Результаты испытаний модели, показанные на рисунке 27, можно разделить на 2 цикла состоящие из 5 участков:

Цикл №1 (равен 5-часам)

- На первом участке температура в камере повышается до 100 °С в течение 30 минут и поддерживается в течение 1.8 часов от начала цикла.

- Далее следует второй участок охлаждения до - 80 °С в течение 30 минут, при котором материал снова выдерживается 1.8 часов.

- На третьем участке температура в камере возвращается в исходное состояние до комнатной температуры 20 °С, и поддерживается 1 час.

Цикл №2

- На четвертом участке температура в камере повышается до 40 °С в течение 30 минут и поддерживается в течение 1.3 часов от начала цикла.

- На пятом участке температура в камере возвращается в исходное состояние до комнатной температуры 20 °С.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Климатическая камера является сложным техническим устройством, предназначенным для проведения экспериментов над различными материалами, с целью установления пригодности использования данных материалов в различных температурно-климатических условиях.

Проектирование климатической камеры является трудоемким процессом, в котором необходимо учесть не только сроки исполнения проекта, но и провести анализ его финансовой реализуемости и расчет затрат, на выполнение данного проекта.

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Задачами раздела являются:

- Проведение сравнительного анализа конкурентных решений;
- Планирование работ для проведения исследования;
- Расчет бюджета затрат на проведение исследования;

3.1 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа конкурентной способности рассчитанного проекта необходимо провести анализ конкурентных технических решений. Для этого необходимо сравнить выбранные в проекте нагреватели и охладители с представленными на рынке конкурентными аналогами и провести их сравнительный анализ.

Для проведения сравнительного анализа необходимо представить оценочную карту конкурентных технических решений. В качестве конкурентного выберем представленный на рынке ТЭН 200D13/2.5 T220 для получения представления о правильности выбора нагревательного элемента для нужд данного проекта.

Таблица 10. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические и экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Обеспечение необходимой скорости прогрева элемента	0,12	5	2	0,6	0,24
2. Пыле и влагозащита	0,07	5	4	0,35	0,28
3. Тепловая стойкость	0,07	4	5	0,28	0,35
4. Надежность	0,08	2	4	0,16	0,32
5. Энергоэкономичность	0,11	5	2	0,55	0,22
6. Безопасность	0,05	3	3	0,15	0,15
7. Устойчивость при продолжительном включении	0,11	4	3	0,44	0,33
8. Гибкость ТЭНа	0,1	5	0	0,5	0
9. Вес	0,08	4	4	0,32	0,32
10. Габариты	0,12	4	2	0,48	0,24
11. Цена	0,09	3	5	0,27	0,45
Итого	1			4,1	2,9

Критерии для сравнения, представленные в таблице 8 были подобраны исходя из технических данных выбранных нагревателей, а так же из условий их эксплуатации. Распределение баллов между критериями согласованно с предприятием по выпуску нагревательных элементов, а так же согласованно с научным руководителем.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Опираясь на представленные результаты, можно с уверенностью сказать, что использование выбранного ТЭНа является наиболее рациональным, поскольку конкурентный продукт не обеспечивает должных

энергоэкономических качеств и является жестким ТЭНом, в отличии от представленного в проекте.

3.2 Организация работ научно-технического исследования (проекта)

Планирование порядка работ определяются по следующему алгоритму:

- определения вида работ;
- определение задействованных в работе;
- определение времени затраченного на каждую работу;
- построение диаграммы Ганта для проведения научно-технической работы;

3.2.1 Планирование проекта

Планирование проекта, является одним из важных этапов работы, что позволяет рационально распределить денежные и временные ресурсы. План работ приведен в таблице 11.

Таблица 11 – План научно – исследовательской работы

№ этапа	Наименование этапов	№ работы	Наименование работ	Исполнители
1	Подготовительный этап	1	Разработка технического задания	Руководитель Инженер
		2	Определение объема работ	
		3	Выбор направления исследований	
		4	Рассмотрение теоретических аспектов	
2	Подготовка экспериментальных работ	5	Разработка схемы управления	Руководитель Инженер
		6	Анализ исходных данных	
3	Экспериментальные работы	7	Расчет необходимых параметров посредством электронного ресурса MatLab	Руководитель Инженер
		8	Проведение расчета нагревательной и охладительной установок	
4	Обобщенная оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Инженер
		10	Выводы о результатах работы	
		11	Оформление пояснительной записки	
	Разработка технической документации	12	Социальная ответственность	Инженер
		13	Технико-экономические расчеты	

Продолжение таблицы 11

5	Завершающий этап	14	Подготовка комплекта документации	Руководитель Инженер
		15	Проверка НТИ	
		16	Сдача НТИ	

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работы оценивается в человеко-днях и носит частично вероятностный характер, т.к. зависит от множества факторов, не все из которых можно учесть. Для определения среднего значения трудоемкости $t_{ожи}$ используем формулу:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макс}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \approx 4 \text{ чел.-дн.};$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая (средняя) трудоемкость выполнения i -ой работы представленная в чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимальная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: при максимально успешном стечении обстоятельств) в чел.-дн.;

$t_{макс}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: при возникновении трудностей и минимально успешном стечении обстоятельств) в чел.-дн.

Исходя из средней трудоемкости работ, определяем срок каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i} = \frac{4}{1} = 4 \text{ дня};$$

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

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

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

3.2.3 Разработка графика Ганта

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

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

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3 \cdot 1,24 = 3,72 \text{ дня};$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3 \cdot 1,47 = 4,41 \text{ дня}$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 46 - 26} = 1,24;$$

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 92 - 26} = 1,47.$$

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

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

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

Для руководителя установлена шестидневная рабочая неделя. Для инженера пятидневная рабочая неделя.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения приведем в таблице 12.

\

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
		t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
1	Разработка технического задания	1	0	2	0	2	0	2	0	3	0
2	Определение объема работ	0	4	0	6	0	5	0	5	0	8
3	Выбор направления исследований	1	5	2	8	2	7	2	7	3	11
4	Рассмотрение теоретических аспектов	2	7	3	11	3	9	3	9	4	14
5	Разработка схемы управления	1	8	2	12	2	10	2	10	3	15
6	Анализ исходных данных	1	7	1	13	1	10	1	10	2	15
7	Расчет необходимых параметров посредством электронного ресурса MatLab	0	4	0	7	0	6	0	6	0	9
8	Проведение расчета нагревательной и охладительной установок	0	8	0	14	0	11	0	11	0	17
9	Оценка эффективности полученных результатов	2	8	3	10	3	9	3	9	4	14
10	Выводы о результатах работы	1	1	2	3	2	2	2	2	3	3
11	Оформление пояснительной записки	0	6	0	8	0	7	0	7	0	11
12	Социальная ответственность	0	2	0	4	0	3	0	3	0	5
13	Технико-экономические расчеты	0	2	0	4	0	3	0	3	0	5

Продолжение таблицы 12

14	Подготовка комплекта документации	0	1	0	2	0	2	0	2	0	3
15	Проверка технического проекта	1	0	2	0	2	0	2	0	3	0
16	Сдача технического проекта	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2

По данным таблицы 12, построим диаграмму Ганта, в которой номера работ соответствуют табличным, а количество дней выполнения работы – длительности работ в календарных днях.

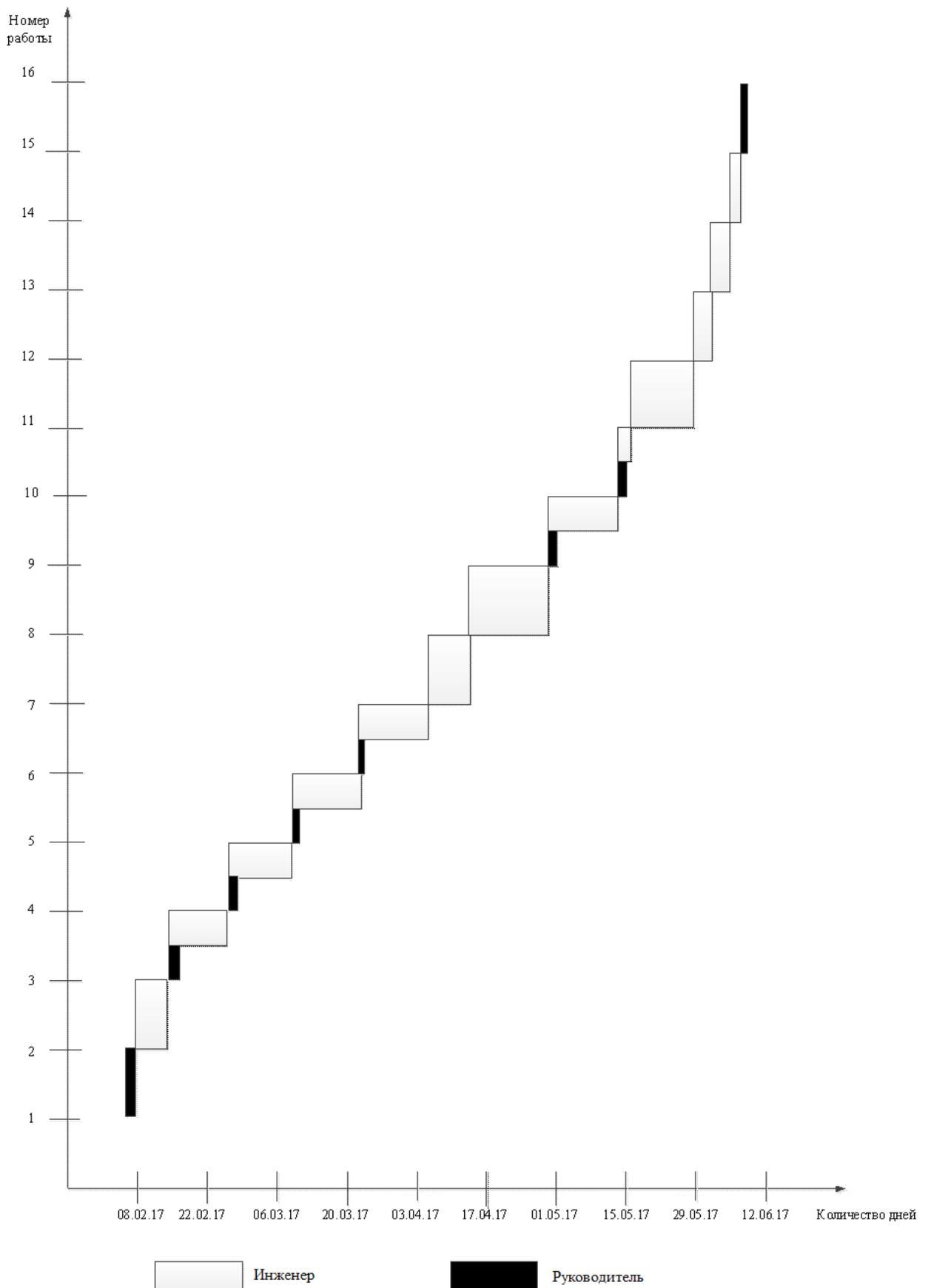


Рисунок 28 – Диаграмма Ганта

Таблица 13 – Результирующая таблица

	Кол-во дней
Общее количество календарных дней для выполнения выпускной работы	140
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	132
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	25

Из диаграммы Ганта видно, что доля работ руководителя не превышает 18% от общего времени работы потраченного на научно техническую работу.

3.3 Бюджет научно-технического исследования.

3.3.1 Составление сметы затрат на разработку технического проекта

Смета затрат – это полный расчет затрат на создание технического проекта.

Смета затрат включает в себя:

- материальные затраты;
- полную заработную плату исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы
- амортизация использования оборудования.

3.3.2 Определение материальных затрат

Материальными затратами являются те затраты, которые необходимы для проведения расчетов и их представления. К ним относятся канцелярские товары, стоимость печати документации и, при необходимости, оплата использования платных ресурсов для получения необходимых для проектирования данных в сети интернет. Условно обозначим материальные затраты равными 2000 рублей.

3.3.3 Определение заработной платы исполнителей проекта

Заработная плата исполнителей проекта, включает оплату труда для задействованных в проекте участников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

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

T_p – продолжительность выполненных работ, представленная в раб. дн.

(таблица 4)

Средняя заработная плата составит:

$$Z_{дн(рук)} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,4}{258} = 2067,30 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн(инж)} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{231} = 1607,27 \text{ руб.}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб:

$$Z_{м(рук)} = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.};$$

$$Z_{м(студ)} = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

$Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для руководителя, являющегося доцентом ставка установлена в 26300 рублей, а для инженера ставка установлена в 17000 рублей);

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (принимается равным 0,3);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (принимается равным 0,2);

k_p – районный коэффициент (для города Томска районный коэффициент равен 1,3);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при пятидневной рабочей неделе (отпуск - 24 раб. дня) – $M = 11,2$ месяца;

- при шестидневной рабочей неделе (отпуск - 48 раб. дня) дней – $M = 10,4$ месяца;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 14).

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	46+8	92+8
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48+5	24+10
Действительный годовой фонд рабочего времени	258	231

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{гс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2067,30233	17	35144,139
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1607,27273	85	136618,182
Итого $Z_{осн}$								171762,3214

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	К _{доп}	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб	З _{зп} , руб
Руководитель	0,15	35144,1395	5271,62093	40415,7605
Инженер	0,12	136618,182	16394,18182	153012,364
Итого		171762,321	21665,80275	193428,124

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов представлены отчисления установленные законодательством РФ, нормами органов государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату в фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и пр.).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 27,1 %. Таким образом отчисления во внебюджетные фонды составит:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot 193428,124 = 52419,02163 \text{ руб.}$$

3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя прочие затраты организации, не входящие в предыдущие статьи расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Их величина определяется по формуле:

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= (\text{затраты на тех.проект}) \cdot k_{нр} = (Z_{зп} + Z_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ &= (193428,124 + 52419,02163) \cdot 0,16 = 39335,54332 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент учета накладных расходов.

Коэффициент учета накладных расходов принимаем равным 16%.

3.3.6 Амортизация использования оборудования

При расчете проекта было использовано компьютерное оборудование, стоимость которого составляет 50 000 рублей. Время использования оборудования составило 140 дней.

Учитывая, что средней продолжительностью работоспособности компьютерного оборудования принято считать 5 лет, необходимо определить амортизационные отчисления за использование данного оборудования

$$Z_{аморт} = (\text{стоимость оборудования}) \cdot k_{аморт} \cdot t_{исп} = 50000 \cdot 0,2 \cdot \frac{140}{365} = 3835,62 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Определение сметы затрат на технический проект

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты	2	0,59
2. Затраты по заработной плате исполнителей проекта	171,7623214	63,8
3. Отчисления во внебюджетные фонды	52,41902163	19,8
4. Накладные расходы	39,3354332	14,8
5. Амортизация оборудования	3,83562	1,0
Итого	269,5167762	100

Бюджет для разработки технического проекта составит 269,517 тыс. руб, из которых 171,762 тыс. руб. (63.8%) приходятся на оплату труда. Такие затраты прогнозируемы и осуществимы. Данный проект возможен для реализации.

В разделе представлен план работ при выполнении проекта, расчет средств необходимых для проведения научно-технической работы, а так же представлена сравнительная характеристика технической и экономической эффективности между представленным в проекте и конкурентным решением. Данный проект является осуществимым и общие затраты на его создание составят 269,517 т.р. Разработка конструкции оценивается как высокоэффективная, так как выполняются все требования, предъявляемые к климатической камере КТК-3000 техническим заданием.

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

4.1 Введение.

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

4.2 Анализ вредных факторов

Часть технологического процесса исследования и проверки климатической камеры основана на работе с компрессором, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [8]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: использование шумозащищенных корпусов и панелей, расчет и использование подходящих полиуретановых амортизаторов под крепление компрессора. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы представленного компрессора при повышенных нагрузках. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия на основании [14], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [1], при работе в условиях недостаточной освещенности, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой

освещенность является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [1]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Возможные отклонения параметров метеоусловий от нормы. В частности, вредным фактором является пониженная подвижность воздуха [9], связанная с плохой вентилируемостью лаборатории, в связи с отсутствием вентиляционной системы. Следствием наличия теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха рабочей зоны [9], которая пагубно влияет на состояние человека. Для решения этой проблемы нужно установить вентиляционную систему и систему кондиционирования.

4.2.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 18.

Таблица 18 - Уровни звукового давления

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

4.2.2 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Технические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

4.2.3 Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;

- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;

- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 20 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 20 - Нормируемые значение КЕО.

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2

Продолжение таблицы 20

периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1
--	--	-------	-----	-----

4.2.4 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Нормы микроклимата для помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести

выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого в помещении и периода года.

4.3 Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе использования климатической камеры. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [10 - 13].

Следующая опасность заключается в том, что работа нагревающим элементом, соответственно возникает опасность ожога, при работе климатической камеры. Однако, благодаря конструкции установки, опасность представляет лишь внутренняя часть камеры и задняя стенка, где расположены трубопроводы. Для снижения риска устанавливают кожухи на задней стенке установки, а так же обеспечиваются защитные условия, при открытии камеры во время ее работы невозможно.

4.3.1 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;

в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;

г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электробезопасности: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электробезопасные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

4.3.2 Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин и аппаратов для данной пожароопасной зоны обозначается

IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [6] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

4.4 Защита окружающей среды

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовым мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [15]: бытовым мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [16]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории

предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

4.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение.

4.5.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [5], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

4.5.2 Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [17] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [17] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от

действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Список используемой в разделе литературы.

1. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). « Опасные и вредные производственные факторы. Классификация »
2. ГОСТ 12.1.005-88 « Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны »
3. ГОСТ 12.1.003-83 « Шум. Общие требования безопасности »
4. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
5. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т « Пожарная безопасность. Общие требования »
6. СП 9.13130.2009 « Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
8. СНиП П-12-77. « Защита от шума »
9. СНиП 2.04. 05-91. « Отопление, вентиляция и кондиционирование »
10. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. « Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты »
11. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. « Обучение работающих безопасности труда »
12. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. « Защитное заземление, зануление »
13. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. « Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов »
14. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. « Вибрационная безопасность. Общие требования »
15. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных »
16. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 « Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »
17. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен обзор приборов для измерения и регулирования температуры, проведена модернизация системы управления климатической камеры КТК-3000, путем выбора программируемого регулятора температуры и влажности МПР 51 - Щ4. Произведен расчет и выбор полугерметичного компрессора Bitzer 4FC-3.2Y-40S и ТЭНа 200D13/2,5T220. Необходимость замены холодильного агрегата, емкостью объемом 2 м³, установленный в цехе №2 «Приборного завода «Сигнал» (г. Обнинск), вызвана тем, что камера КТК-3000 была изготовлена в ГДР в 1977 г. Компрессор Н-2 28/4м³ холодильной установки устарел, запасных компрессоров нет, а системы увлажнения воздуха и управления камерой физически изношены.

Составлена функциональная схема САР температуры и произведено описание функциональных элементов данной схемы, также составлена структурная схема САР температуры и определены передаточные функции звеньев. Произведено математическое описание объекта. На основе настройки контура нагрева и охлаждения САР на оптимум по модулю был выбран ПИ-регулятор.

Данная работа содержит обширный экспериментальный материал. Был проведен анализ работающей САР температуры и выявлены недостатки, которые заключаются в некорректной работе исходного регулятора системы. Также экспериментально в среде MathCAD была получена кривая разгона, по которой произведена идентификация объекта управления, описываемый передаточной функцией апериодического звена первого порядка.

Далее при моделировании в Simulink были собраны схемы САР температуры контура нагрева и охлаждения с ПИ-регулятором, параметры настройки которого рассчитаны методом оптимального модуля. Моделирование показало работоспособность этих схем и подтвердило выводы, сделанные ранее в среде MathCAD.

Для определения экономической целесообразности проекта были проведены сетевое планирование технической разработки системы управления климатической установки КТК-3000 и расчёт затрат на его выполнение, который показал, что модернизация данной системы позволит получить в течение всего периода эксплуатации 1,008 рубля с одного рубля инвестиций и обеспечить полную окупаемость затрат за 1,49 лет.

Кроме того был проведен анализ опасных и вредных производственных факторов и определены пути минимизации их влияния на здоровье инженера. Так же был произведен расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла.

Таким образом, спроектированная система обеспечивает все требования предъявленные в задании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И., Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. – М.: Химия, 1982. – 295 с.;
2. Ключев А.С., Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 367 с.;
3. Трудоношин В.А., Пивоваров Н.В., САПР: Система автоматизированного проектирования. Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1988. – 159 с.;
4. Балакирев В.С., Володин В.М., Цирлин А.М., Оптимальное управление процессами химических технологий. - М.: Химия, 1978. – 384 с.;
5. Монтаж средств измерений и автоматизации. Справочник. Под ред. Ключева А.С. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 489 с.;
6. Елизаров И.А. ,Технические средства автоматизации. - М.: Высшая школа, 2004 г. – 126 с.;
7. Родионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б., Технические средства АСУ ТП. Под ред. Яковлева В.Б. - М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.;
8. Калиниченко А.В., Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике. М.: Высшая школа, 2008. – 245 с.;
9. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Основные положения. - М.: Изд - во стандартов, 1999. – 76 с.;
10. Климатическая установка КТК-3000. Технический паспорт. - ОАО «Сигнал» г. Обнинск, 2009. – 25 с.;
11. Регуляторы, измерители, контроллеры, датчики. Полный Каталог продукции ОВЕН 2008/2009 - <http://www.owen.ru/support/48194140>;
12. МПР 51-Щ 4 Измеритель – регулятор температуры и влажности. Паспорт и руководство по эксплуатации. - М.: Овен, 2009. – 88 с.;

13. Стефании Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических объектов. – М., Энергия, 1972. – 376 с.;
14. Касаткин А.Г., Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. 8. - М.: Химия, 1971. – 784 с.;
15. Колиев И.Д., Судовые холодильные установки. Учебное пособие - Одесса: Феникс, 2009. – 264 с. - <http://www.morkniga.ru/p806859.html>;
16. Зеликовский И.Х., Каплан Л.Г., Малые холодильные машины и установки - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1989. – 672 с.;
17. Выбор компрессора. - <http://www.vneshkomplekt.com/kompressory-bitzer/>;
18. Электротермическое оборудование, справочник. /Под общей редакцией А. П. Альтгаузена, М. Я. Смелянского - М.: «Энергия», 1967 . – 448 с.;
19. Бакластов А.М., Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. - М.: Энергия, 1970. – 568 с.;
20. Выбор бесконтактного коммутационного элемента. - <http://www.contravt.ru/id=6997.;>
21. Преобразователь тензометрический ПТ-6. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Л1020.000.00 ТО;
22. Преобразователь напряжения серии ПН-ТТ. Паспорт ИЦЖД. 435321.018 ПС.;
23. Преобразователь измерительный цифровой многоканальный Ш 711/1. Руководство по эксплуатации ЭПБ.499.070 РЭ.;
24. Шински Ф., Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. - М.: Химия, 1974. – 247 с.;
25. Зайгейм А.Ю., Введение в моделирование химико-технологических процессов. Математическое описание процессов. - М.: Химия, 1973. – 224 с.;
26. Френкс Р. Математическое моделирование в химической технологии. - М.: Химия, 1971. – 272 с.;
27. Дурновцев В.Я., Ширяев А.А., Расчет автоматических систем регулирования в электронных таблицах. Электронная книга/ Руководство по

выполнению лабораторных и расчетных работ. - Северск: СТИ ТПУ, 1997. – 58 с.;

28. Дурновцев В.Я., Математические модели объектов управления и оптимизация / Электронная книга. - Северск: СТИ ТПУ, 1998. – 215 с.;

29. Дьяконов В.П., Справочник по применению системы MATLAB. - М.: Наука, 1993. – 112 с.;

30. Потемкин В.Г., Система MATLAB. Справочное пособие. – М.: "Диалог - МИФИ", 1997. – 350 с.;

31. Кобзарь Т.В., Сетевое планирование инженерной разработки: Руководство по выполнению курсовой работы. – Северск, 2006. – 27 с.;

32. Золотогоров В.Г. Инвестиционное проектирование: Учеб.пособие. – Минск.: ИП «Экоперспектива», 1998. – 463 с.;

33. Гамрат-Курек Л. И., Экономика инженерных решений в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1986. – 254 с.;

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А 1 Технические данные ПН - ТТ

номинальный ток, А	63
номинальное напряжение питающей сети $U_{с ном}$, В	380
номинальная выходная частота, Гц	50 (60)
диапазон регулирования выходного напряжения от номинального значения при $U_{с ном}$, %	5...110
коэффициент полезного действия, % не менее	98
коэффициент мощности при номинальном выходном напряжении и $U_{с ном}$, не менее	0,9
напряжение управления, В	0-10
ток управления, мА	0-5
входное сопротивление для сигнала управления, кОм	20
охлаждение	естественное воздушное

Приложение Б

Программируемые параметры регулятора МПР – 51 Щ 4

Таблица Б.1 Программируемые параметры регулятора температуры и влажности МПР
51-Щ4

Обозн.	Название	Допустимые значения	Комментарии
Параметры программ			
H01	Количество шагов в программе	001..099	-
H02	Номер шага программы, который является начальным шагом цикла	000..099	-
Параметры компараторов С1...С4			
с01	Входная величина компаратора	001 002 003 004 005 006 007	Температура продукта ($T_{\text{прод.}}$), [град.] Температура камеры (сухого термометра, $T_{\text{сух.}}$), [град.] Температура влажного термометра ($T_{\text{влаж}}$) $\Delta T = T_{\text{сух.}} - T_{\text{прод.}}$, [град.] Относительная влажность Ψ , [%] Входная величина 1-го регулятора Входная величина 2-го регулятора
с02	Выход компаратора	000 001..004 005 006	Выход компаратора отключен 1 ...4-е реле 5-е реле, светодиод «Авария» не горит 5-е реле, светодиод «Авария» горит
с03	1 -я (верхняя) уставка компаратора	99...+999 0...99	[град.] [%]
с04	2-я (нижняя) уставка компаратора	99...+999 0...99	[град.] [%]
с05	Логика работы компаратора	000 001 002 003	Реле замыкается при значении контролируемой величины, большем верхней уставки, а размыкается - при меньшем нижней уставки Реле замыкается при значении величины, меньшем нижней уставки, а размыкается - при большем верхней уставки Реле замыкается при значении контролируемой величины, находящемся между нижней и

			верхней уставками Реле замыкается при выходе значения контролируемой величины за пределы, заданные верхней и нижней уставками
c06	Блокировка срабатывания компаратора до 1 -го достижения уставки в начале программы	000 001	Откл. Вкл
c07	Блокировка срабатывания компаратора до 1 -го достижения уставки в начале шага	000 001	Откл. Вкл
c08	Блокировка срабатывания компаратора до снятия внешнего воздействия	000 001	Откл. Вкл
c09	Время задержки срабатывания компаратора	000..999	[с]
c10	Время задержки отпускания компаратора	000...999	[с]
Параметры шагов			
n01.... n08	Режимы 1-го...8-го транзисторных ключей на данном шаге	000 001 002...015	Ключ не замкнут (транзистор закрыт) Ключ замкнут непрерывно (транзистор открыт) 1., 14-й импульсные режимы работы ключа, задаваемые в параметрах F02... F15 (F.02... F.15)
У01	Условие перехода к следующему шагу	000 001 002 003	По достижении установленного в параметре У02 значения температуры или влажности По достижении установл. в параметрах У04 и У05 времени По выполнении условий 000 и 001 По выполнении условий 000 или 001
У02	Условия перехода к следующему шагу по температурам или влажности	001 (002) 003 (004) 005(006) 007 (008) 009(010)	Тпрод.> Туст.прод. (Тпрод_ < Туст.прод), [град.] Тсух. >Туст. сух. (Тсух < Туст.сух), [град.] Твлаж.>Туст.влаж. (Твлаж.< Туст.влаж.), [град.] ΔТ > ΔТуст. (ΔТ <ΔТуст.), [град.] Ψ>Ψуст. (Ψ<Ψуст.), [%]
У03	Уставка условия перехода к следующему шагу по температурам или влажности	99...+999	В диапазоне измерения датчиков

У04	Длительность шага	0...60	[ч]
У05	Длительность шага	0...59	[мин]
Параметры 1-го (2-го) регуляторов на данном шаге			
E01 (E.01)	Входная величина регулятора	001 002 003 004 005	Температура продукта, [град.] Температура сухого термометра в камере, [град.] Температура влажного термометра, [град.] $\Delta T = T_{\text{сух.}} - T_{\text{прод.}}$, [град] Относительная влажность Φ , [%]
E02 (E.02)	Уставка входной величины (целая часть) - XXX.	99...+999 0...99	[град.], пользователь задает только 0...99 [%] целую часть уставки XXX.X
E03 (E.03)	Уставка входной величины (дробная часть) - .OOX	00.0...00.9 00.1...00.9	[град.], пользователь задает только [%] дробную часть уставки XXX.X
E04 (E.04)	Скорость выхода на уставку	0.0..99.9	[град/мин];[%/мин]
E05 (E.05)	Знак скорости выхода на уставку	000 001	Положительный (рост входной величины) Отрицательный (снижение входной величины)
Общие параметры			
Scr	Параметр секретности	001 002 003	Вход в уровень только через пароль Вход в уровень по паролю для записи, без пароля для чтения Вход в уровень без установки пароля для чтения и записи
Параметры импульсных режимов транзисторных ключей			
F02 ... F15	Длительность импульса 1...14-го режимов	000...999	[с]
F.02... F.15	Длительность паузы между импульсами 1...14-го режимов	000...999	[с]
Коррекция показаний термометров			
Сдвиг характеристики датчика			
1 c1	для термометра продукта	000..51.1	Прибавляется к измеренному значению, [ед. измер.]
2c1	для сухого термометра		
3c1	для влажного термометра		
Знак сдвига характеристики			
1c2	для термометра продукта	000 001	Положительный Отрицательный
2c2	для сухого термометра		
3c2	для влажного термометра		
Наклон характеристики датчика			
1c3	для термометра продукта	000..25.5	Умножается на измеренное значение, [% от измер. велич.]
2c3	для сухого термометра		

3с3	для влажного термометра		
Основные параметры работы прибора			
о01	Тип температурных датчиков, подключаемых к прибору	001 002 003	ТСМ [50М/100М] $W_{100} = 1,426$ ТСП [50П/100П] $W_{100} = 1,385$; РП00 ТСП [50П/100П] $W_{100} = 1,391$ ТСМ [50М/100М] $W_{100} = 1,428$
о02	Индикация десятых долей измеренной величины на индикаторе «ПАРАМЕТР»	000 001	Индикация без десятых долей Индикация с десятичными долями
о03	Управление индикатором «ВЛАЖНОСТЬ»	000 001	Индикатор указывает номер программы Индикатор указывает влажность
о04	Количество индицируемых параметров на индикаторе «ПАРАМЕТР»	001 002 003 004 005	Индицируется только Тсух. Индицируется Тсух. и Твлаж. Индицируется Тсух., Твлаж. и Тпрод. Индицируется Тсух., Твлаж., Тпрод. и положение задвижки 1 Индицируется Тсух., Твлаж., Тпрод., положение задвижек 1 и 2
о05	Использование коэффициентов калибровок	000 001	Используется коэфф. калибровки отдельно для входа 1, входа 2 и отдельно для входа 3 Использ. коэфф. калибр. входа 4 для всех 3-х термометров
о06	Психрометрический коэфф., для вычисления влажности	064..080	Зависит от внешних условий
о07	Поведение прибора после появления пропавшего напряжения сети питания 220 В	001 002 003 004 005	Продолжение работы с момента пропадания питания Аварийный останов (со срабатыванием реле 5) Неаварийный останов (переход в режим «Останов») Продолжение, если Тсух. (Твлаж., Тпрод.) < Тоткл. - Твкл., если >, то аварийный останов ¹ Продолжение, если Тсух. (Твлаж., Тпрод.) ^ Тоткл - Твкл., если >, то неаварийный останов
о08	Значение (Тоткл. - Твкл.)/Тоткл. • 100%, необходимое для задания значений 004,005 предыдущего параметра о07	0...99	[%]
о09	Скорость обмена данными с компьютером по последовательному порту RS-232	000 001 002 003 004	300 бод (бит/с) 600 бод 1200 бод 2400 бод 4800 бод

		005	9600 бод
		006	14400 бод
		007	19200 бод
o10	Тип разбиения памяти на программы и шаги	000	Колич. Программ Количество шагов 60 7
		001	30 16
		002	20 25
		003	15 34
		004	12 43
		005	10 52
		006	6 88
		007	5 99
011	Тип переключения каналов индикации	000	Автоматическое переключение
		001	Ручное переключение
Параметры 1-го (2-го) ПИД-регуляторов			
P01 (P.01)	Постоянная времени дифференцирования	000...999	[с]
P02 (P.02)	Постоянная времени интегрирования	000...999	[с]
P03 (P.03)	Полоса пропорциональности	000...999 0...99	[град] [%]
P04 (P.04)	Период следования выходных импульсов	000...120	[с]
P05 (P.05)	Зона действия интегральной составляющей	000...999	[град]
P06 (P.06)	Ограничение максимальной мощности	000...99	[%]
P07 (P.07)	Тип исполнительного устройства на выходе регулятора	000	Коммутирует свои реле: одно - «нагреватель», другое - «холодильник Регулятор отключен
		001	Коммутирует свое реле как «нагреватель»
		002	Коммутирует свое реле как «холодильник»
		003	Управляет задвижкой по прямо пропорциональному закону
		004	Управляет задвижкой по обратно пропорциональному закону
		005	Управляет задвижкой по прямо пропорциональному закону с обратной связью
		006	по положению
		007	Управляет задвижкой по обратно пропорциональному закону с обратной связью по положению

P08 (P.08)	Зона нечувствительности	000...099 0...09	[град] [%]
Самонастройки 1 -го (2-го) ПИД-регуляторов			
SLF (SLF.)	Входная величина, для которой производится самонастройка	001 002 003 004 005	Температура Tпрод, Вход Tсух. Вход Tвлаж, $\Delta T = T_{сух.} - T_{прод.}$ Относительная влажность Ψ
Калибровки датчиков			
CAL	Калибровки входов термодатчиков и датчиков положения	001 002 003 004 005 006	Калибровка входа 1 Калибровка входа 2 Калибровка входа 4 при полностью закрытой задвижке 1 Калибровка входа 4 при полностью открытой задвижке 2 Калибровка входа 5 при полностью открытой задвижке 2 Калибровка входа 5 при полностью закрытой задвижке 2

Приложение В

Технические характеристики МИП

- а) максимальное количество каналов преобразования 60;
- б) максимальное количество подключаемых ТП 54;
- в) номинальные статические характеристики преобразования сигналов ПП

в электрический кодированный сигнал соответствуют формулам:

- 1) для ТП

$$y_1 = f_{н1}(e), \quad (B.1)$$

где y_1 – результат преобразования, °С;

e – термо ЭДС ТП, мВ;

$f_{н1}(e)$ – функция, обратная функции $e = f(T)$, заданной номинальной статической характеристикой ТП соответствующего типа по ГОСТ 3044-84.

- 1) для ТС

$$y_2 = f_{н2}(R), \quad (B.2)$$

где y_2 – результат преобразования, °С;

R – сопротивление постоянному току, Ом;

$f_{н2}(R)$ – функция, обратная функции $R = f(T)$, заданной номинальной статической характеристикой (НСХ) ТП соответствующего типа по ГОСТ 6651-84.

- 2) для ПП с унифицированными токовыми выходными сигналами

$$y_3 = I, \quad (B.3)$$

где y_3 – результат преобразования, мА;

I – сила постоянного тока, мА.

3) для МИП с выходным сигналом напряжения постоянного тока

$$y_4 = U, \quad (B.4)$$

где y_4 – результат преобразования, мВ;

U – напряжение постоянного тока, мВ.

г) выходной кодированный электрический сигнал МИП имеет вид цифрового сообщения и передается двоичным 7-и битным кодом для обмена информацией (кодированная таблица КОИ-7НІ по ГОСТ 27463-87) на интерфейсы ИРПР и ИРПС (ОСТ 25778-82 и НМ МПК по ВТЮ-78). Полное цифровое сообщение имеет вид:

$$NNS \text{ XXXXXX } S \text{ DD}, \quad (B.5)$$

где NN – двузначный номер канала от 01 до 60;

S – знак результата преобразования (“-” или “+”);

XXXXXX – результат преобразования, представленный числом в десятичной системе счисления с фиксированной запятой;

S – результат сравнения с уставкой в виде знаков больше, и меньше или пробел;

DD – единица измерения результата преобразования.

Таблица В.2

Вид преобразуемого входного сигнала	Формат и пределы измерения результата преобразования	Номинальная цена единицы младшего значащего разряда
-------------------------------------	--	---

		индицируемой величины
Сигналы ТП. ТВР(А), ТПР(В), ТПП(С), ТХА(К), ТХК(Л), ТМК(М)	От 000000 до 02500 От -0200.0 до +1300.0	1 °С 0.1 °С
Сигналы ТС.	От -0200.0 до +1100.0	0.1 °С
Сигналы силы постоянного тока 0-5 мА 0-20 мА 4-20 мА	От -00.050 до +05.050 От -00.200 до +20.200 От +03.800 до 20.200	0.001 мА 0.001 мА 0.001 мА
Сигналы напряжения постоянного тока 0-100 мВ	От -001.00 до +101.00	0.01 В

д) номинальная статическая характеристика преобразования выходного кодированного сигнала в выходной аналоговый сигнал имеет вид:

$$I = \frac{I_{\text{МАКС}} - I_{\text{МИН}}}{y_{\text{МАКС}} - y_{\text{МИН}}} \cdot (y - y_{\text{МИН}}) + I_{\text{МИН}}, \quad (\text{В.6})$$

где I – текущее значение выходного аналогового сигнала, мА;

$I_{\text{МАКС}}$, $I_{\text{МИН}}$ – верхнее и нижнее значение рабочего диапазона изменения выходного аналогового сигнала мА;

$y_{\text{МАКС}}$, $y_{\text{МИН}}$ – верхнее и нижнее значение результата преобразования, задаваемые пользователем в определенном формате и пределе;

y – текущее значение результата преобразования.

е) пределы измерения выходных аналоговых сигналов МИП

устанавливаются по каждому выходу в одном из следующих диапазонов: от 0 до 5 мА, от 0 до 20 мА и от 4 до 20 мА.

ж) количество аналоговых выходов, штук	16;
з) МИП обеспечивает сравнение результата преобразования с уставкой и сигнализацию и сигнализацию отклонений в виде замыкания бесконтактного ключа.	
и) общее количество уставок, штук	80;
к) количество уставок, адресуемых одному входному сигналу, штук	до 4;
л) средний срок службы МИП	8 лет;
м) масса МИП не более, кг	22;
н) максимальная скорость опроса каналов МИП	20 кан/с;
п) средняя наработка МИП на отказ по функции преобразования в кодовой сигнал и сигнализации отклонений	5000 часов.