

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Нурмагомедова Милана Руслановна

«Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных  
экспериментов»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

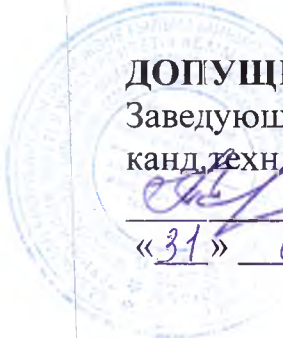
Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»



**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой ЭТиКТ,  
канд. техн. наук  
Таштай Е.Т.  
«31» 05 2024 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: Разработка термостата с цифровым управлением для  
дистанционных экспериментов

6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

Выполнила

Нурмагомедова М.Р.

Рецензент  
PhD, доцент, Алматинского  
университета энергетики и связи  
имени Г.Даукеева



Алмуратова Н.К.  
«04» 05 2024 г.

Научный руководитель  
Ассоциированный профессор, к.т.н.

Жигалов В.А.  
«30» 05 2024 г.

Алматы 2024

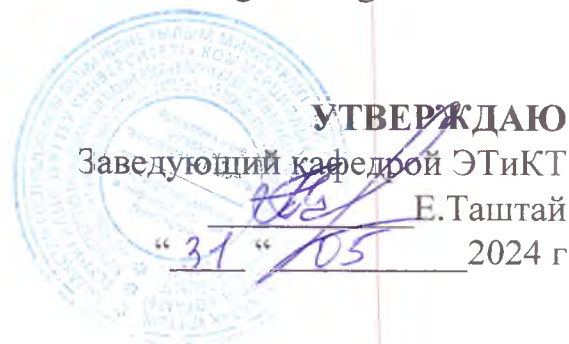
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических  
технологий»

ОП «6B07104 Electronic and Electrical Engineering»



**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся: Нурмагомедова Милана Руслановна

Тема: Разработка термостата с цифровым управлением для  
дистанционных экспериментов

Утверждена приказом ректора университета № 548 от «04.12» 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «30» 05 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе:

Для проведения удалённых экспериментов необходимо разработать цифровой термостат, который будет поддерживать температуру в камере с точностью до  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура должна задаваться с внешнего компьютера через команды с терминальной программы. Текущая температура должна выводиться в терминальную программу с задаваемой частотой. Диапазон изменения температур: от  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при внешней температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Мощность нагревателя до 5 Вт.

Краткое содержание дипломной работы:

1. Построение математической модели термостата.
2. Выбор схемных, конструктивных и программных решений для системы управления.
3. Разработка принципиальной электрической схемы термостата.
4. Разработка программы микроконтроллера для управления термостатом.

5. Разработка печатной платы термостата.
6. Создание действующей макетной реализации термостата.
7. Измерение характеристик термостата в различных режимах работы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Структурная схема термостата.
2. Принципиальная электрическая схема термостата.
3. Схема печатной платы.
4. Фото макетной реализации приёмника.
5. Графики изменения температуры в нескольких режимах работы.

Рекомендуемая основная литература:

1. Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.И., Болтунов Г.И., Мансурова О.К. Цифровые системы управления: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 133 с.

2. Семейство микроконтроллеров MSP430x2xx. Архитектура. Программирование. Разработка приложений. – М.: ДМК-Пресс, 2015 г. – 544 с.

3. Хоровиц, Хилл: Искусство схемотехники. Бином. 2022 г. 704 с.
4. Ю.Ревич. Занимательная электроника. БХВ-Петербург ВHV, 2017 г. – 640 с.
5. ПИД-регулятор. Статья в Википедии.



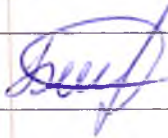
## ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

| Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю и консультантам | Примечание |
|--|---|------------|
| Блок–схема термостата                                    | 01.02.2024  | Выполнено  |
| Принципиальная схема термостата. Схема печатной платы    | 15.02.2024  | Выполнено  |
| Создание первой макетной реализации термостата           | 01.03.2024  | Выполнено  |
| Создание второй макетной реализации термостата           | 01.04.2024  | Выполнено  |
| Снятие температурных кривых в различных режимах работы   | 15.04.2024  | Выполнено  |


## Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

| Наименования разделов | Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)     | Дата подписания | Подпись   |
|-----------------------|--|-----------------|---|
| Теоретическая часть   | Ассоциированный профессор, к.т.н. Жигалов В.А. | 29.05.2024 г.   |  |
| Расчетная часть       | Ассоциированный профессор, к.т.н. Жигалов В.А. | 29.05.2024 г.   |  |
| Нормоконтролер        | Ассистент каф.ЭТиКТ, маг.техн.наук Перизат Б.  | 29.05.2024 г.   |  |

Научный руководитель  Жигалов В.А.

Задание принял к исполнению студент  Нурмагомедова М.Р.

Дата  05 2024 г.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа на тему «Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов» текст которой изложен на 35 страницах, на которых имеется 22 рисунка, 4 формулы. При написании работы использовалось 11 источников.

Цель работы в разработке устройства для проведения удалённых экспериментов, которое будет поддерживать температуру в камере. Во введении описывается направление, актуальность, цель и задачи. В итоге был собран макет, проведены эксперименты и достигнуты удовлетворительные результаты с контролируемой температурой с точностью в 0.001.

## АНДАТПА

"Қашықтықтан эксперименттер үшін цифрлық басқарылатын термостатты әзірлеу" тақырыбындағы тезис, оның мәтіні 35 бетте көрсетілген, онда 22 сурет, 4 формула бар. Жұмысты жазу кезінде 11 дереккөз пайдаланылды.

Жұмыстың мақсаты—камерадағы температураны ұстап тұратын қашықтағы эксперименттер жүргізуге арналған құрылғыны жасау. Кіріспе бағытты, өзектілікті, мақсат пен міндеттерді сипаттайды. Нәтижесінде макет жиналды, эксперименттер жүргізілді және қанағаттанарлық нәтижелерге қол жеткізілді.

## ANNOTATION

Thesis on the topic "Development of a digitally controlled thermostat for remote experiments", the text of which is presented on 35 pages, on which there are 22 drawings, 4 formulas. 11 sources were used when writing the work.

The purpose of the work is to develop a device for conducting remote experiments that will maintain the temperature in the chamber. The introduction describes the direction, relevance, purpose and objectives. As a result of the work, a mock-up was assembled, experiments were carried out and satisfactory results were achieved.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 8  |
| 1 Теоретические основы терморегуляции и цифрового управления | 9  |
| 1.1 Введение в термодинамику и теплопередачу                 | 9  |
| 1.2 Анализ существующих систем термостатирования             | 13 |
| 1.3 Протоколы цифрового управления и дистанционной связи     | 16 |
| 1.4 Обзор технологий дистанционного управления и мониторинга | 17 |
| 2 Проектирование термостата с цифровым управлением           | 19 |
| 2.1 Основные компоненты схемы                                | 20 |
| 2.2 Разработка алгоритмов управления                         | 27 |
| 3 Тестирование и оптимизация системы термостата              | 30 |
| 3.1 Методы испытаний   | 30 |
| 3.2 Оптимизация системы                                      | 34 |
| Заключение   | 41 |
| Список использованной литературы                             | 42 |

## ВВЕДЕНИЕ

Контроль температуры относится к процессам, которые направлены на поддержание ее в помещении на определенном максимальном/минимальном уровне или в установленном диапазоне. В последнее время глобализация и индустриализация привели к необходимости использования систем контроля температуры в различных сферах повседневной деятельности, особенно в связи с появлением эффекта "зеленого дома".

Во многих домах и промышленных предприятиях, помимо прочего, имеются участки работы, где для успешного протекания процесса необходимо поддерживать определенную температуру. В исследовательских лабораториях отсутствие систем контроля температуры привело к необходимости приобретения камер, в которых будут проводиться исследования, фиксированного градуса. Это также привело к увеличению накладных расходов в помещениях, где постоянно функционирует электронная техника или оборудование, например в серверных комнатах и на производственных предприятиях. Это места, где тяжелая техника и компьютеры работают непрерывно 24 часа в сутки. Во время этих процессов необходимо часто контролировать температуру, чтобы она не поднималась и не опускалась ниже значения, которое ускорит износ систем.

Важно также следить за уровнем температуры в других местах, таких как больницы, самолеты, жилые комнаты и т.д., чтобы обеспечить поддержание комфортабельных условий для постоянного пребывания там человека. Тепловой комфорт обычно определяется как состояние психики или функциональности, которое выражает удовлетворенность средой (например, в ISO 1984). Неудовлетворенность может быть вызвана слишком теплой или холодной обстановкой в целом, или нежелательным нагревом или охлаждением определенной части системы (локальный (функциональный) дискомфорт).

Автоматический контроль температуры признан лучшим методом в любой области применения, поскольку температура обычно контролируется без вмешательства человека на протяжении всего процесса.

В разных регионах и в разные периоды времени температура контролируется эффективно и более точно. Кроме того, этот вывод облегчает работу человека, так как автоматически управляемая система заботится о других нештатных погодных проблемах за вас.

Основной целью данного проекта является создание системы контроля температуры, способной автоматически контролировать температуру среды, в которую она помещена, путем своевременного включения устройств для воздействия на температуру в зависимости от заданного значения



# 1 Теоретические основы терморегуляции и цифрового управления

## 1.1 Введение в термодинамику и теплопередачу

Первый закон термодинамики, также известный как закон сохранения энергии утверждает, что энергия в изолированной системе не создается и не уничтожается, а лишь преобразуется из одной формы в другую. В условиях данной работы по применению термостатов для регулирования температуры, этот закон имеет важное практическое значение, так как помогает понимать и контролировать тепловые процессы в управляемом пространстве лаборатории.

$$\Delta U = A + Q \quad (1.1)$$

Температурный контроллер регулирует систему, активируя или деактивируя нагрев, чтобы компенсировать внешние и внутренние изменения тепловой энергии. Когда в систему поступает тепло, элемент нагрева может временно отключить систему отопления, чтобы избежать перегрева установки. В контексте систем ОВКВ (Система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) это означает, что необходимо учитывать все тепло, добавляемое или удаляемое из системы. Для расчета эффективности систем отопления, а также для понимания того, как энергия распределяется и преобразуется этот закон можно брать за основную идею.

Так создается научная основа для понимания процесса контроля потребления энергии в термостатах, делая их не только инструментом для поддержания комфорта, но и важным устройством для экономии энергии.

Второй закон термодинамики гласит, что тепло самопроизвольно передается только от объекта с более высокой температурой к объекту с более низкой температурой и не может быть передано в обратном направлении без внешнего воздействия. Таким образом появляется понимание почему системы охлаждения и отопления требуют внешнего источника энергии для перемещения тепла в направлении, который нужен моей системе, и является ключом к разработке эффективных тепловых насосов и холодильных машин.

Общая энтропия изолированной системы не может уменьшаться со временем. Процедура здесь рассматривается как мера беспорядка или случайности в системе. Тепло самопроизвольно переходит от объекта с более высокой температурой к объекту с более низкой температурой и не может переходить в обратном направлении без внешнего вмешательства.

Энтропия генерируется всеми процессами и связана с потерей способности системы выполнять свою работу. Рост энтропии – это спонтанный процесс. Если объем и энергия системы постоянны, изменения в системе увеличивают энтропию. По мере изменения объема или энергии системы энтропия системы уменьшается. Для использования энергии в системе должны быть поля высокого и низкого уровня энергии. В результате переноса энергии из областей с высоким

уровнем энергии в области с низким уровнем энергии проводится полезная работа.

Это объясняет, почему тепловая энергия передается от более теплых частей дома к более холодным, и почему термостаты нуждаются в энергии, чтобы поддерживать в доме умеренный уровень тепла. В основе работы систем отопления, которые искусственно вмешиваются в естественный процесс теплообмена для создания комфортных условий активно используют выводы данного закона.

Термостаты, используя принцип эффективности энергообмена, могут оптимизировать процессы отопления таким образом, чтобы максимально повысить энергоэффективность. Как повсеместно известно современные контроллеры используют алгоритмы, которые минимизируют количество энергии, необходимой для достижения и поддержания заданной температуры. Таким образом точно контролируется включение и выключение нагревательных устройств в схеме.

Одним из ключевых алгоритмов является ПИД–регулирование, которое настраивает интенсивность работы системы в зависимости от разницы между текущей и желаемой температурой, скорости изменения температуры и длительности отклонения температуры от заданного значения.

Адаптивные алгоритмы управления основываются на машинном обучении. При их помощи анализируются прошлые данные и текущие условия, и система предсказывает оптимальные параметры работы. Происходит адаптация к изменениям погоды, времени суток и привычкам пользователей, что способствует дополнительной экономии энергии.

Также широко используется оптимизация по расписанию. Автоматически программа понижает или повышает температуру в зависимости от времени суток, освещения и присутствия людей в помещении. Чтобы снизить потребность в работе систем отопления или охлаждения температура может быть снижена ночью или в периоды, когда никого нет дома.

Современные термостаты также используют данные датчиков присутствия и окружающей среды для автоматической регулировки температуры. Система способна оптимизировать работу в зависимости от фактической потребности в отоплении и реагировать на изменения погоды, что еще больше снижает потребление энергии.

Второй закон также влияет на разработку и использование тепловых насосов, которые могут перемещать тепло против естественного направления его распространения. Эти насосы, которые часто управляются с помощью термостатов, являются эффективными отопительными устройствами, потребляющими меньше энергии, чем традиционные системы.

Понимание второго закона термодинамики позволяет разрабатывать более совершенные и эффективные системы контроля температуры. Элементы нагрева, учитывающие эти принципы, могут более эффективно управлять энергопотреблением, снижая общие эксплуатационные проблемы.

Термостаты, которые включают в себя программирование и интеллектуальные функции, используют данные о температуре в помещении и потреблении энергии. Так, для расчета оптимального режима отопления и охлаждения, происходит анализ того, как быстро меняется температура в ответ на включение или выключение системы отопления. В последствии минимизируется потребление энергии и повышается эффективность системы.

#### Примеры применения

В зданиях с высокими потолками или большими окнами, где потери тепла могут быть значительными, термостаты помогают поддерживать комфорт. Адаптация к изменениям внешней температуры и уровня изоляции у новых моделей происходит достаточно быстро.

Ключевым аспектом при разработке и эксплуатации термостатов, включая системы ОВКВ, в наше время является теплопередача. Существует три основных механизма передачи тепла: теплопроводность, конвекция и излучение. В общей системе терморегуляции каждый из этих методов имеет свою цель.

Кондукция – это процесс передачи тепла через вещество без перемещения самого вещества. За счет микроскопических столкновений частиц вещества тепло передается из одной его части в другую. Изоляционные материалы, такие как пенополистирол, стекловата или полиуретан, используются для минимизации теплопередачи за счет своей проводимости. Низкая теплопроводность материалов помогает удерживать тепло в пределах допустимого радиуса.

В то же время уже для усиления теплопередачи, например, в системах отопления, используются материалы с высокой теплопроводностью, такие как металлы (медь, алюминий). Так тепло эффективно распределяется в нужных областях.

Передача тепла путем физического перемещения групп молекул внутри жидкостей или газов уже будет конвекцией. В системах контроля температурного баланса этот процесс часто используется для перераспределения тепла в помещении.

Когда тепло передается в виде электромагнитных волн, которые могут передаваться через пустоту, не требуя наличия материи происходит излучение. Термостаты должны учитывать тепловое излучение, особенно от больших поверхностей. Такие препятствия могут существенно влиять на температуру в помещении. Служат хорошим примером светоотражающие шторы, специальные стеклянные и темные покрытия. Они будут минимизировать теплопотери зимой и предотвращать чрезмерный приток тепла летом. Чтобы увеличить теплоотдачу в помещении в конструкции радиаторов и других отопительных приборов используются материалы, способствующие эффективной передаче тепла через излучение.

Важным аспектом проектирования и эксплуатации нагревательного элемента является понимание теплопередачи через различные материалы и

анализ температурных полей. Я рассмотрю несколько примеров расчетов, которые могут быть использованы в практической части моей работы.

Простые задачи на расчёт теплопередачи через разные материалы

Задача 1: Расчёт теплопроводности стены

Допустим, необходимо определить количество тепла, проходящего через стену здания. Используем формулу закона Фурье для одномерной стационарной теплопроводности:

$$Q = \frac{k \cdot A (T_{\text{внутри}} - T_{\text{снаружи}})}{d} \quad (1.2)$$

где:  $Q$  – тепловой поток через стену (ватты, Вт),

$k$  – коэффициент теплопроводности материала стены (ватты на метр на кельвин, Вт/(м·К)),

$A$  – площадь стены (квадратные метры, м<sup>2</sup>),

$T_{\text{внутри}}$  и  $T_{\text{снаружи}}$  – температуры внутри и снаружи соответственно (градусы Цельсия, °С),

$d$  – толщина стены (метры, м).

Предположим, стена сделана из кирпича с коэффициентом теплопроводности 0.7 Вт/(м·К), толщиной 0.25 м и площадью 10 м<sup>2</sup>. Температура внутри дома +20°С, а снаружи –5°С. Подставляя данные, получим:

$$Q = \frac{0.7 \times 10 \times (20 - (-5))}{0.25} = 700 \text{ Вт}$$

Это означает, что через стену передаётся 700 Вт тепловой энергии.

Задача 2: Анализ температурного поля в комнате с источником тепла

Для моделирования температурного поля в помещении я могу использовать уравнение теплопроводности в двумерной или трехмерной форме. Однако для простоты возьму двумерное уравнение стационарного состояния и рассмотрю комнату с радиатором отопления, равномерно распределяющим тепло.

Использую метод конечных элементов для дискретизации уравнения и наложу граничные условия (температура на радиаторе, изоляция стен). После численного решения получу карту температурного поля, которая показывает, как распределяется тепло в помещении, и выявляет зоны, где возможны холодные сквозняки или перегрев.

## 1.2 Анализ существующих систем термостатирования

Механические, электронные, а также программируемые и умные термостаты представляют собой разные поколения технологий регулирования температуры. От других устройств они отличаются механизмом работы, функциональностью и способностью к интеграции в среду.

Механические термостаты, также называемые биметаллическими, используют механические компоненты для регулирования температуры. Биметаллическая пластина, состоящая из двух металлов с разными коэффициентами теплового расширения, соединенных между собой, подвергается разного рода нагрузкам. Эта пластина изгибается при изменении температуры окружающей среды включая или выключая электрический контакт и тем самым активируя систему отопления.

Электронные термостаты используют более современные методы, такие как, датчики для измерения температуры и микропроцессоры для управления системами отопления. Температура задается с минимальными погрешностями и высокой точностью. А также, приборы могут быть оснащены дополнительными функциями, такими как таймеры и индикаторы. Этот вид устройств требуют подключения к электросети или батарее, что может стать недостатком в случае отключения электричества.

Программируемые и интеллектуальные термостаты – наиболее продвинутые варианты. Программируемые позволяют задавать желаемые температурные параметры на определенное время, что помогает экономить электроэнергию и обеспечивает комфортные условия прохождения экспериментов. Умные контроллеры идут еще дальше, предлагая такие функции, как дистанционное управление через мобильные приложения, интеграцию с другими умными устройствами в доме, автоматическую адаптацию к привычкам пользователей и даже отслеживание погоды для более эффективного управления.

Выбор типа термостата зависит таких факторов как, бюджет, требования к точности регулирования температуры, желаемая простота использования и готовность к интеграции с другими технологиями в доме. Электронные обеспечивают большую точность и некоторые дополнительные функции, а программируемые и интеллектуальные – максимальную функциональность и удобство.

Умные термостаты – это усовершенствованная версия программируемых только уже имеющая возможность подключения к Интернету, управления через мобильные приложения, адаптации к поведению пользователя и интеграции с широким спектром систем домашней автоматизации.

Благодаря передовым технологиям и программированию, умные и программируемые термостаты предлагают самый высокий уровень контроля и точности. Электронные также хороши, но не обеспечивают такого контроля. Механические термостаты остаются наименее точными.

Умные термостаты обеспечивают максимальное удобство благодаря возможности управления через смартфон и автоматической адаптации. Программируемые требуют предварительной настройки, но все равно удобны в использовании. Электронные и механические обеспечивают базовый уровень контроля.

Ключевым этапом в процессе проектирования, позволяющим анализировать и прогнозировать поведение системы в условиях проведения экспериментов будет построение математической модели регулятора для удаленных экспериментов. Благодаря математической модели у меня будет возможность определить оптимальные параметры и настройки системы, а также оценить её эффективность и надежность до того, как я соберу рабочий макет проекта.

Математическая модель элемента включает в себя следующие основные компоненты:

Модель теплопередачи: описывает, как тепло передается в контролируемой среде. Сюда входят кондуктивный, конвективный и радиационный теплообмен. Модель может быть построена на основе уравнений теплопроводности, которые для простоты могут быть аппроксимированы в одномерном или двумерном виде.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q \quad (1.3)$$

где  $T$  – температура,

$\alpha$  – коэффициент теплопроводности материала,

$Q$  – внутренние источники тепла.

Динамика термостата: описывает реакцию системы на изменения температуры. Это включает в себя ПИД-регулятор, который управляет исполнительным механизмом (в моем случае транзистором) для поддержания заданной температуры.

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1.4)$$

где  $u(t)$  – управляющий сигнал,

$e(t) = T - T_{set}$  – ошибка температуры,

$T_{set}$  – заданная температура,

$K_p, K_i, K_d$  – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты ПИД-регулятора.

Действие в ПИД-регуляторе, или функция управления ( $u(t)$ ), включает в себя три компонента: пропорциональный, интегральный и дифференциальный. Хотя формула, включающая эти три компонента, полезна для теоретического понимания, она не всегда удобна для практических расчетов, особенно при реализации программной части проекта. Предпочтительнее для этого

использовать численные методы, поэтому в программе часто переходят на дискретную форму реализации ПИД–регулятора:

$$\begin{aligned}u(t) &= P(t) + I(t) + D(t); \\ P(t) &= K_p * e(t); \\ I(t) &= I(t-1) + K_i * e(t); \\ D(t) &= K_d * \{e(t) - e(t-1)\};\end{aligned}\tag{1.5}$$

Рассчитаю общую сумму трех компонентов, каждая из которых характеризуется своим коэффициентом. Если коэффициент равен нулю, соответствующий компонент не вносит вклад в итоговое значение. Эта формула будет использоваться для дальнейшей работы и реализации в программе. Однако существует и другой способ реализации, основанный на рекурсивном методе:

$$\begin{aligned}u(t) &= u(t-1) + P(t) + I(t) + D(t); \\ P(t) &= K_p * \{e(t) - e(t-1)\}; \\ I(t) &= I * e(t) \\ D(t) &= K_d * \{e(t) - 2 * e(t-1) + e(t-2)\};\end{aligned}\tag{1.6}$$

Влияние внешних условий: тут рассматривается воздействие окружающих факторов на систему. Подразумеваются температура среды, общая влажность в помещении и наличие сквозняка. Даже небольшие изменения в этих факторах могут влиять на чистоту проводимого эксперимента. Поэтому часто представляют дополнительные члены в уравнении теплопередачи или модификацию управляющего сигнала.

#### Применение модели

Математическая модель используется для моделирования работы термостата при различных условиях, что позволяет:

–Оптимизировать настройки ПИД–регулятора для достижения быстрого и стабильного отклика на изменение температуры.

–Провести анализ чувствительности, чтобы оценить, как различные параметры и внешние условия влияют на работу системы.

–Разработать стратегии управления для экономии энергии и повышения общей эффективности системы.[1]



Рисунок 1.1 – Обобщенная функциональная схема системы управления

### 1.3 Протоколы цифрового управления и дистанционной связи

В процессе разработки модель предоставляет ценные данные для проектирования, тестирования и последующего совершенствования системы нагрева. Благодаря проведенным опытам и расчетам, на этом этапе я смогу определиться с конкретными составляющими моей принципиальной схемы, которые будут использоваться в макете.

Современные системы дистанционного управления системами поддержания температуры используют как проводные, так и беспроводные протоколы связи. Выбор уже будет зависеть от конкретных целей, потребностей системы и, естественно, бюджета проекта.

Проводные решения, такие как Ethernet, обеспечивают высоконадежное и безопасное соединение. Такое особенно важно для непрерывного мониторинга и управления экспериментом. Из минусов, такому виду системы требуется прокладка физической проводки, что может быть неудобно и дорого при установке в существующих условиях. Еще одним минусом можно считать отсутствие гибкости конфигурации устройств.

С другой стороны, беспроводные решения, такие как Wi-Fi, Bluetooth и Zigbee, обеспечивают значительную вариативность, податливость и простоту добавления или модификации компонентов системы. Wi-Fi – удобный вариант для большинства домов, поскольку он обеспечивает легкую интеграцию и хорошую масштабируемость, но может страдать от помех и проблем с безопасностью. Bluetooth идеально подходит для устройств с батарейным питанием благодаря своей энергоэффективности и простоте использования, но его радиус действия ограничен. Zigbee, разработанная специально для IoT-устройств, обеспечивает надежную и безопасную сеть с низким энергопотреблением, но может потребовать более сложной настройки и управления, а также более высоких первоначальных затрат.



## 1.4 Обзор технологий дистанционного управления и мониторинга

Современные термостаты часто оснащаются функциями дистанционного управления, позволяющими контролировать и регулировать температурные параметры через интернет. Эти устройства подключаются к домашней сети Wi-Fi и могут управляться через мобильные приложения или веб-интерфейсы. Некоторые из этих контроллеров также интегрированы с системами "умного дома", такими как Amazon Alexa, Google Home и Apple HomeKit, что позволяет использовать голосовые команды для управления температурой.

Технологии удаленного мониторинга включают в себя не только отслеживание градусов, но и контроль влажности, качества воздуха и других параметров окружающей среды. Датчики собирают и передают данные на центральные серверы или непосредственно на устройства пользователей. Так удаленно анализируются и оптимизируются условия в помещении.

Разработка систем управления и мониторинга, таких как термостаты с цифровым управлением для удаленных экспериментов естественно не проходит без анализа протоколов связи и передачи данных. Правильный выбор протокола обеспечивает надежность, безопасность, эффективность и масштабируемость системы. Для этого системы должны отвечать конкретным требованиям проекта, включая типы и объемы передаваемых данных, требования к задержкам, диапазон работы, энергопотребление и стоимость решения.

Любые сбои в передаче данных могут привести к нарушению работы системы, поэтому первостепенной важностью обладает надежность протокола. Они с высокой надежностью обеспечивают механизмы подтверждения приема данных и автоматической ретрансляции в случае форс мажоров.

Также ключевым фактором является безопасность передачи данных. Протоколы должны включать средства шифрования и аутентификации для защиты данных от несанкционированного доступа и атак. Приложения, требующие удаленного управления особенно уязвимы для подобного. Атаки чаще всего направлены на получение контроля над системой и порчи программы.

Эффективность передачи данных играет важную роль для минимизации задержек и максимального использования доступной пропускной способности сети. Удобные мне протоколы оптимизируют использование сетевых ресурсов, что очень важно для систем с большим количеством устройств.

Способность адаптироваться к росту числа подключенных устройств и объема данных также играет немаловажную роль. Масштабируемые протоколы позволяют легко добавлять в систему новые устройства без существенного увеличения затрат или снижения производительности.

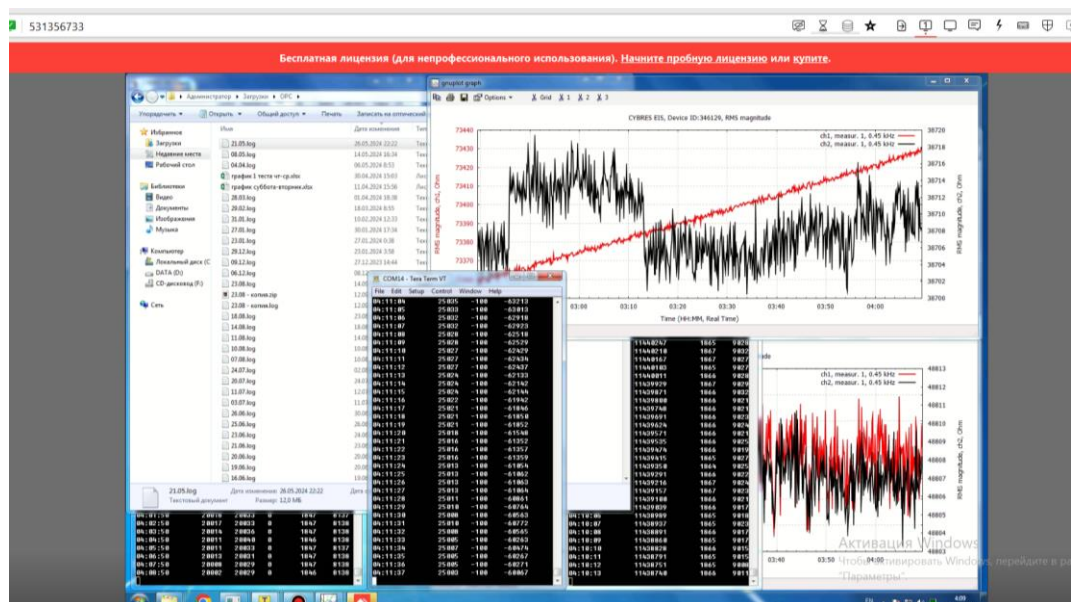


Рисунок 1.2 – Вид программы для мониторинга

Важные протоколы, которые часто используются в системах дистанционного управления, включают:

- Wi-Fi и Ethernet для высокоскоростной передачи данных через IP-сети.
- Zigbee и Z-Wave, предоставляющие надежные и энергоэффективные решения для устройств Internet of Things (IoT).
- Bluetooth и Bluetooth Low Energy (BLE), идеально подходящие для мобильных приложений и устройств с низким энергопотреблением.
- MQTT и CoAP, которые обеспечивают легковесные и эффективные механизмы передачи данных для IoT.

В итоге, для моего проекта я решила остановиться на беспроводном решении Wi-Fi, так как, это оказалось самым эффективным и надежным способом в моем случае. Для дистанционного мониторинга решено было использовать программу AnyDesk.

## 2 Проектирование термостата с цифровым управление

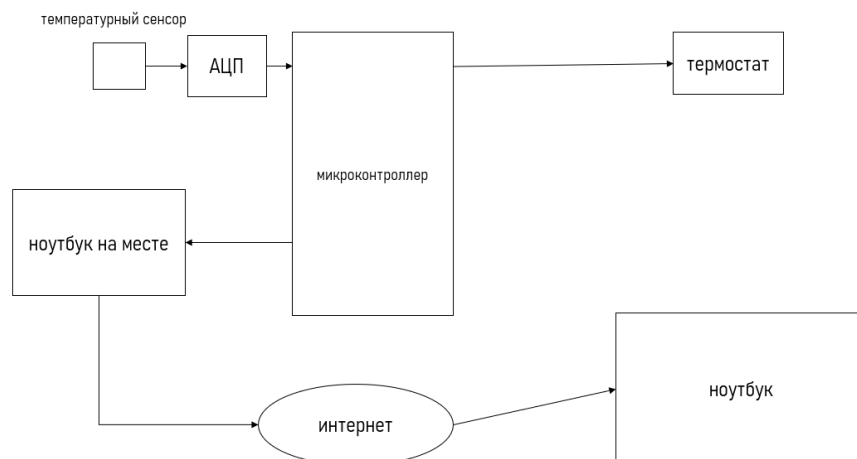


Рисунок 2.1 – Блок схема цифрового терморезистора

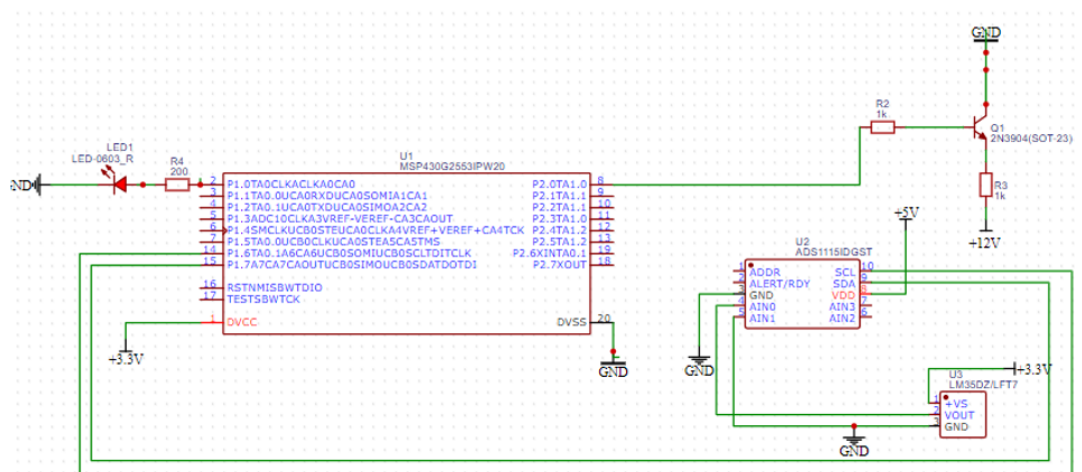


Рисунок 2.2 – Схема, осуществленная в программе EasyEda (Вывода P1.1 и P1.2 микроконтроллера потом уже идут к компьютеру)

EasyEDA – это облачный инструмент для проектирования электронных схем и печатных плат (ПП). Программа предлагает комплексные решения для электронных проектов, включая проектирование схем, ПП, моделирование и совместную работу в режиме реального времени. Благодаря своей доступности, мощности и интуитивно понятному интерфейсу инструмент идеально подошел для осуществления моей проектной деятельности.

Программа предоставила широкий спектр возможностей, от создания электронных схем с помощью обширной библиотеки компонентов до проектирования макетов печатных плат с автоматической трассировкой. Также здесь отлично поддерживается моделирование схем, что позволило мне проверить функциональность конструкции до ее физического изготовления.

Кроме того, EasyEDA очень удачно облегчает совместную работу, позволяя командам работать над проектами синхронно.

EasyEDA был использован для решения нескольких ключевых задач. Во-первых, инструмент помог спроектировать и оптимизировать электронную схему термостата. Очень удачно прошла интеграция температурных датчиков и исполнительных механизмов. Во-вторых, EasyEDA облегчила проектирование и оптимизацию печатной платы. Устройство получилось компактным и эффективным. В-третьих, функции моделирования использовались для тестирования функциональности термостата до начала производства, что помогло своевременно выявить и устранить потенциальные дефекты макета.

## 2.1 Основные компоненты схемы

Датчики являются основой любой системы контроля температуры, поскольку они предоставляют необходимые данные для управления условиями. В моем случае обязательно выбрать элемент с высокой чувствительностью, так как регулировка будет проходить в малом диапазоне температур и требовать высокой точности измерений. Среди различных типов датчиков наиболее распространены термисторы и термопары.

Термисторы – это тип полупроводниковых резисторов, сопротивление которых очень чувствительно к температуре. Они могут быть с отрицательным температурным коэффициентом (NTC) или с положительным температурным коэффициентом (PTC). Процесс измерения происходит благодаря уменьшению сопротивления при повышении температуры и наоборот, что делает данный элемент идеальным для использования в термостатах, где требуется быстрая реакция на изменение температуры. Они отличаются высокой точностью и низкой стоимостью, но их диапазон измерений ограничен, что в таких температурных рамках (25–50 С) не имеет значения. [8]

Термопары вырабатывают электрический ток при разнице температур между двумя различными металлами, соединенными в одной точке. Они подходят для измерения более широкого диапазона температур и обычно используются в промышленных и научных приложениях, где измеряются более высокие значения температуры. Имеют возможность легко интегрироваться в различные системы, однако они требуют специализированных усилителей сигнала и более сложной калибровки.

Различные типы датчиков температуры включают термисторы, термопары, ТДС (резистивные датчики температуры) и твердотельные датчики. Выбор зависит от требуемого диапазона измерений, точности и условий применения:

Термисторы обеспечивают высокую точность в ограниченном диапазоне температур и хорошо подходят для применения в помещениях и медицине.

Термопары подходят для очень широкого диапазона температур и могут использоваться в промышленных и научных приложениях, где требуются высокие температуры.



–вес: 0.3 г.[7]

Приводы в системах терморегуляции отвечают за активацию и деактивацию систем нагревания. Среди них выделяются реле и твердотельные контроллеры.

Реле способны работать с высоким напряжением и током, что делает их подходящими для коммерческого и промышленного применения. Они надежны и относительно недороги, но могут изнашиваться из-за механической природы контактов.

Твердотельные регуляторы (SSR) не имеют движущихся частей и основаны на полупроводниковых приборах. SSR более надежны и долговечны, чем механические реле, поскольку не подвержены физическому износу. Они также обеспечивают более быстрое и бесшумное переключение, но их стоимость выше по сравнению с традиционными реле.

При выборе транзистора в качестве нагревательного элемента для проекта я учитывала ряд ключевых параметров, чтобы обеспечить надежность и эффективность устройства. В макете использовался именно транзистор для нагревания, из-за его простоты и доступности, так можно будет воссоздать мой проект и другим студентам уже для своих нужд. Вот основные аспекты, которыми я руководствовалась при выборе подходящего транзистора:

Выбор между биполярными транзисторами (BJT) и полевыми транзисторами (MOSFET) может значительно повлиять на производительность системы. BJT обычно имеют более высокий коэффициент усиления тока, но могут требовать большего управляющего тока. Из-за чего они менее эффективны для приложений, где энергопотребление критично. MOSFET, с другой стороны, управляются напряжением и имеют высокую эффективность и меньшие потери мощности, что делает их более предпочтительными для использования в качестве нагревательных элементов.

Важно иметь подходящую максимальную мощность рассеивания, которая должна превышать ожидаемую, выделяемую при нормальной работе устройства. Мощность рассеивания транзистора определяет, какое количество тепла он может выделять без перегрева и повреждения.

Транзисторы должны выдерживать высокие температуры, возникающие при их работе в режиме нагревателя. Поэтому проверка максимальной рабочей температуры транзистора была важной частью подготовки. Мне нужно было убедиться, что он может безопасно и эффективно функционировать в заданных условиях эксплуатации.

Низкое тепловое сопротивление тоже было немаловажным фактором при выборе. Маленькое значение предполагает лучшую способность к отводу тепла, что положительно повлияет на общую надежность и продолжительность службы транзистора как нагревательного элемента.

Насколько легко можно управлять транзистором в нашей схеме управления является важнейшим критерием при выборе. Например, MOSFET, управляемые напряжением, могут быть более удобными в цифровых схемах управления, чем BJT, которым требуется определенный ток для включения.

Выбранный транзистор должен быть доступен и не превышать бюджетные ограничения проекта. В некоторых случаях может быть целесообразно рассмотреть транзисторы, которые широко доступны и имеют низкую стоимость для упрощения производства и обслуживания.

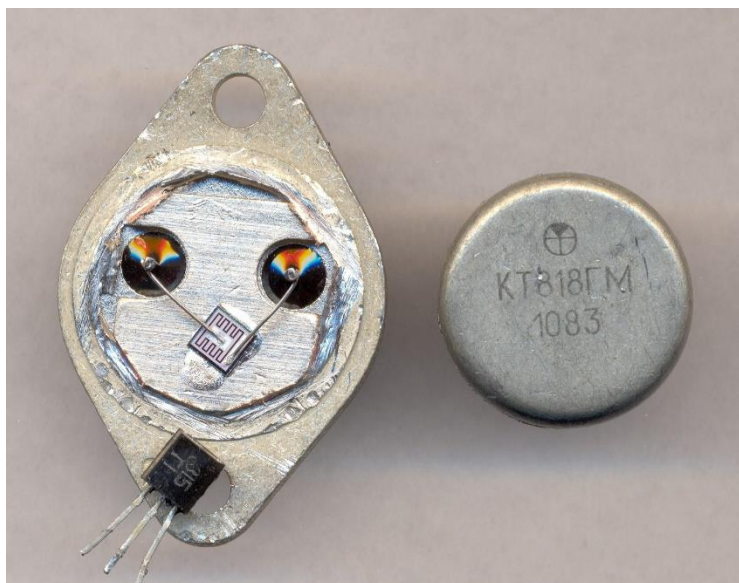


Рисунок 2.4 – Транзистор, который использовался в схеме

Основные технические характеристики транзистора KT818GM:

- структура транзистора: p–n–p;
- $P_{к т max}$  – Постоянная рассеиваемая мощность коллектора с теплоотводом: 100 Вт;
- $f_{гр}$  – Граничная частота коэффициента передачи тока транзистора для схемы с общим эмиттером: не менее 3 МГц;
- $U_{кэг max}$  – Максимальное напряжение коллектор–эмиттер при заданном токе коллектора и заданном сопротивлении в цепи база–эмиттер: 90 В (0,1кОм);
- $U_{эбо max}$  – Максимальное напряжение эмиттер–база при заданном обратном токе эмиттера и разомкнутой цепи коллектора: 5 В;
- $I_{к max}$  – Максимально допустимый постоянный ток коллектора: 15 А;
- $I_{к и max}$  – Максимально допустимый импульсный ток коллектора: 20 А;
- $I_{кбо}$  – Обратный ток коллектора – ток через коллекторный переход при заданном обратном напряжении коллектор–база и разомкнутом выводе эмиттера: не более 1 мА (40В);
- $h_{21э}$  – Статический коэффициент передачи тока транзистора для схем с общим эмиттером: более 12;
- $C_{к}$  – Емкость коллекторного перехода: не более 1000 пФ;
- $R_{кэ нас}$  – Сопротивление насыщения между коллектором и эмиттером: не более 0,27 Ом.[4]



Выбор аналого–цифрового преобразователя (АЦП) для проекта требует тщательного анализа нескольких ключевых технических параметров. К ним относятся разрешение, скорость преобразования, входное напряжение, совместимость с микроконтроллерами и потребляемая мощность.

Разрешение АЦП определяет, насколько малые изменения входного сигнала могут быть измерены. Для приложений, где требуется высокая точность, как в моем случае, следует выбирать АЦП с достаточно высоким разрешением. Таким образом я обеспечу точный контроль температуры и смогу спокойно регулировать с отклонением в менее чем 0.001. 12–16 бит часто является достаточным для большинства приложений контроля температуры.

Для систем контроля температуры, где изменения температуры происходят относительно медленно, высокая скорость преобразования может не иметь решающего значения. Но все–таки необходимо выбрать достаточную скорость преобразования, чтобы система адекватно реагировала на изменения температуры окружающей среды.

Выбранный АЦП должен быть совместим с микроконтроллером, используемым в проекте. Это таким же образом касается уровней логических сигналов, интерфейсов передачи данных (например, SPI, I2C) и напряжения питания.

Для удаленных приложений, особенно если система питается от батарей, важным параметром становится энергопотребление. Выбор естественным образом падает на АЦП с низким энергопотреблением, что помогает максимально продлить время автономной работы устройства.

Необходимо учитывать и входное напряжение, которое может обрабатывать преобразователь, и количество каналов.



Рисунок 2.5– Выбранный АЦП

Технические характеристики:

- Напряжение питания: 2V – 5,5V;
- Минимальное потребление тока: 150 мкА;
- Разрешение: 16 бит;
- Тип интерфейса: I2C (адреса 0x48, 0x49, 0x4A, 0x4B);
- Количество входов: 4 несимметричных или 2 дифференциальных;
- Внутренний усилитель PGA: до x16;
- Напряжение смещения: 100мкВ;



- Настраиваемая скорость обработки данных: 8–860 выборок/сек.
- Выходной программируемый компаратор;
- Диапазон рабочих температур:  $-40^{\circ}\text{C}+125^{\circ}\text{C}$ ;
- Тип корпусов микросхемы: X2QFN–10 или VSSOP–10;
- Размер модуля: 28x16мм.[3]

Ключевым шагом, который в значительной степени повлияет на производительность, стоимость и успех конечного продукта я выберу микроконтроллер. Для такого проекта необходимо учесть несколько важных факторов:

Прежде всего, необходимо оценить требуемую вычислительную мощность. Важным будет чтобы способность обрабатывать входные данные от датчиков, управлять исполнительными механизмами и взаимодействовать с удаленным пользовательским интерфейсом были на высоте. Если для проекта мне потребуется проведение сложных математических расчетов или быстрой обработки данных, буду использовать микроконтроллер с достаточной тактовой частотой и объемом памяти.

Микроконтроллеры с необходимыми встроенными периферийными устройствами, такими как АЦП для считывания аналоговых сигналов с датчиков температуры, таймеры для управления временем и ШИМ–выходы для управления мощностью исполнительных механизмов окажутся весьма полезны. Наличие встроенных интерфейсов, таких как I2C, SPI или UART, для связи с другими устройствами или внешними коммуникационными модулями также является несомненно полезным дополнением.[2]

Выбранный мною микроконтроллер должен поддерживать протоколы связи, которые могут использовать в проекте, например Wi-Fi, Bluetooth или Zigbee. Это особенно важно для проектов, требующих удаленного управления и мониторинга.



Рисунок 2.6 – Микроконтроллер MSP430G2553

Технические характеристики:

- Рабочая температура:  $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$  (TA);
- Исполнение корпуса: 20–TSSOP;

- Base Part Number: MSP430G2553;
- Переферийные устройства: Brown–out Detect/Reset, DMA, POR, PWM, W;
- Основной процессор: MSP430;
- Скорость: 16MHz;
- Число входов/выходов: 16;
- Объем: EEPROM;
- Размер RAM памяти: 512 x 8;
- Разрядность: 16–Bit;
- Сетевое взаимодействие: IC, IrDA, LINbus, SCI, SPI, UART/USAR;
- Размер памяти для программирования: 16KB (16K x 8);
- Тип памяти для программирования: FLASH;
- Напряжение питания (Vcc/Vdd): 1.8 V ~ 3.6 V;
- Преобразователи данных: A/D 8x10b;
- Тип генератора колебаний: Internal.[2]

## 2.2 Разработка алгоритмов управления

Разработка алгоритмов управления в системах термостатирования является ключевым аспектом для обеспечения точности, надежности и безопасности. Особое внимание в таких системах уделяется программированию ПИД–регулятора.

Программирование ПИД–регулятора для точного контроля температуры

```

...
476
477 void UpdatePIDT(void)
478 {
479     eT[2] = eT[1];
480     eT[1] = eT[0];
481     eT[0] = (int)targetT - digitsTMP1;
482
483     // TODO - условия поменять
484     if (eT[2] == 0 || eT[1] == 0 || digitsTMP1 == 0)
485         return;
486
487     termostatU_di = (long)kT_i * eT[0];
488     termostatU_di_10 += termostatU_di % 10;
489
490     termostatU += (long)termostatU_di / 10 + (long)kT_p * (eT[0]-eT[1]) + (long)kT_d * (eT[0]-2*eT[1]+eT[2]);
491
492     if (abs(termostatU_di_10) >= 10)
493     {
494         termostatU += termostatU_di_10 / 10;
495         termostatU_di_10 = termostatU_di_10 % 10;
496     }
497
498     if (termostatU > MAX_TIMER_VALUE)
499         termostatU = MAX_TIMER_VALUE;
500
501     if (termostatU < 0)
502         termostatU = 0;
503
504     if (termostatU < 0)
505     {
506         TA1CCR1 = 0;
507     }
508     else if (termostatU > MAX_TIMER_VALUE)
509     {
510         TA1CCR1 = MAX_TIMER_VALUE;
511     }
512     else
513     {
514         TA1CCR1 = termostatU;
515     }
516 }

```

Рисунок 2.7– Часть кода программы с ПИД–регулятором

Ключевую роль в обеспечении высокой точности, эффективности и стабильности температурного контроля по большей части играет использование

ПИД–регуляторов (пропорционально–интегрально–дифференциальных) в системах контроля температуры, в том числе в термостатах. Особенно эффективно они доказали свою полезность посредством удаленных экспериментов, где требовался точный и стабильный контроль температуры.

Процесс управления сочетает в себе три типа вычисления: пропорциональное (P), интегральное (I) и дифференциальное (D). Пропорциональный компонент управляет выходом на исполнительный механизм беря за основу текущую разницу между заданной и фактической температурой. Чем больше разница или ошибка, тем сильнее воздействие. Интегральный компонент в это время учитывает прошлые значения ошибки и помогает устранить статическую ошибку, обеспечивая достижение и поддержание заданной температуры без постоянных отклонений. Дифференциальный в свою очередь реагирует на скорость изменения ошибки и уменьшает колебания, стабилизируя систему, тем самым предотвращая перерегулирование.[6]

Что очень важно для моих экспериментов, так это строгое соблюдение температурного режима. ПИД–регуляция справляется с поставленной задачей на ура и обеспечивает высокую точность поддержания заданной системе температуры. Адаптация к различным условиям происходит мгновенно, автоматически компенсируя изменения в окружающей среде и характеристиках системы, что привносит пользы использованию ПИД–регуляторов в различных научных и промышленных приложениях.

Наличие этого элемента также способствует повышению энергоэффективности проекта. Минимизация колебаний и перерегулирования снижает необходимость частого включения системы отопления, что приводит к снижению затрат энергии. Кроме того, интеграция с системами удаленного мониторинга и управления преподносит мне возможность точно контролировать и регулировать температурные параметры из любой точки мира, обеспечивая высокий уровень контроля и удобства.

Исследование существующих технологий дистанционного управления и мониторинга будет фундаментальным аспектом при разработке термостата с удаленным цифровым управлением. Это необходимо для более глубокого понимания текущего состояния технологии, выявления действенных способов ее же реализации и определения возможных улучшений, которые могут быть использованы.

#### Включение функций безопасности и аварийного отключения

Безопасность является приоритетом в любой системе управления, особенно когда речь идет о температурном контроле в чувствительных или катализаторно–нестабильных средах. Для предотвращения внештатных ситуаций, которые могут привести к повреждению оборудования или даже несчастным случаям на производстве существуют определенные функции, обеспечивающие безопасность и аварийное отключение систем в случае неисправности.

Введение подобных функций предполагает разработку алгоритмов, которые могут автоматически отключать систему или переводить ее в

безопасный режим при обнаружении аномалий. Система имеет возможность включить сигнал тревоги и отключить источники тепла если какие-либо параметры превышают установленные пороговые значения.

Эти меры не только повышают надежность системы, но и обеспечивают дополнительную защиту пользователей и оборудования. Таким образом, при разработке мной алгоритмов управления учитывались как точность контроля температуры, так и обеспечение высоких стандартов безопасности. Такой подход позволит мне получить систему, которая не только эффективно контролирует температуру, но и минимизирует риски для пользователей и оборудования.

### 3 Тестирование и оптимизация системы термостата

#### 3.1 Методы испытаний

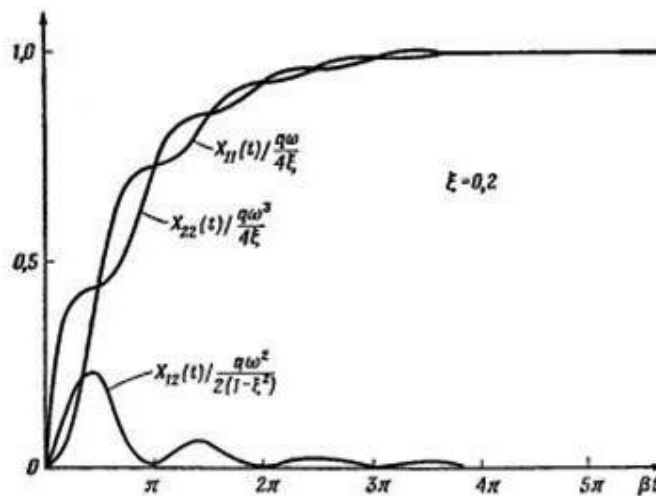


Рисунок 3.1 – График элементов матрицы ковариаций гауссовского марковского процесса второго порядка с малым демпфированием

Таким образом должны выглядеть адекватные графики при урегулировании процесса поднятия температуры в экспериментальной части. Результат будет считаться хорошим, когда мы потратим наименьшее количество времени на достижение целевой температуры и когда уйдет минимальное количество колебаний на коррекцию любых ошибок.

Эффективное тестирование системы терморегуляции требовало тщательного планирования с моей стороны. После, с попеременной успешностью, проводились серии тестов для оценки стабильности, точности и надежности, полученной мной системы. Это включало в себя как лабораторные, так и полевые испытания для моделирования различных условий эксплуатации. Испытания включали в себя длительный мониторинг температуры в контролируемых условиях. Проверялась также реакция системы на экстремальные температуры, и, естественно, анализ поведения системы при сбоях в подаче электроэнергии и других нештатных ситуациях.

Настройка коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  в ПИД-регуляторе была критически важной задачей для достижения желаемого поведения системы управления. И заняла большую часть времени, отведенного на экспериментальную часть работы. Каждый из этих коэффициентов по-своему влияет на поведение системы управления в различных аспектах: пропорциональном ( $K_p$ ), интегральном ( $K_i$ ) и дифференциальном ( $K_d$ ).

Пропорциональный коэффициент  $K_p$  определяет реакцию системы на текущую ошибку. Большое значение коэффициента приводило к быстрому отклику системы, но при переборе система уходила в длительное перерегулирование (система колебалась вокруг уставки). Слишком маленькое

значение  $K_p$  приводило к медленному отклику, который в свою очередь был недостаточным для поддержания управления. В результате экспериментов у меня получился сносной стабильности пропорциональный регулятор, который, в последствии, практически не нуждался в настройке.

$K_i$  в это время помогает устранить остаточную ошибку, которая может сохраниться после первоначальной реакции на изменение. Таким образом накапливается остаток от первоначальной ошибки и с течением времени вводится корректирующее действие, которое устранил в будущем долгосрочные последствия. Во время опытов слишком большое значение  $K_i$  приводило к нестабильности и колебаниям. Я начинала с небольшого значения и постепенно увеличивала его до тех пор, пока систематическая ошибка в установившемся режиме не была устранена. Когда система обретала излишнюю нестабильность или в ней возникали колебания,  $K_i$  непременно мной уменьшалось.

Дифференциальный коэффициент влияет на то, как система реагирует на скорость изменения ошибки, добавляя демпфирование в систему. В моем проекте за  $K_d$  я взялась в последнюю очередь, так как он полезен уже на этапе шлифовки графиков для сглаживания процесса, достижения целевой точки и уменьшения перерегулирования. Начинала, естественно, с низкого значения  $K_d$  и контролировала его до тех пор, пока система не стала достаточно стабильной, чтобы уменьшить перерегулирование. Слишком высокое значение  $K_d$  сделал систему жесткой и медленной

После сбора тестовых данных я их детально проанализировала, чтобы выявить возможные проблемы в работе системы. Этот процесс включал в себя анализ времени отклика термостата, его способности поддерживать стабильную температуру в различных условиях, а также надежности его компонентов. На этом этапе мне важно было выявить не только очевидные неисправности, но и потенциальные узкие места, которые могут повлиять на долгосрочную работу системы.

| File     | Edit | Setup | Control | Window | Help |
|----------|------|-------|---------|--------|------|
| 23:50:14 |      | 24999 | -100    | 11332  |      |
| 23:50:15 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:16 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:17 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:18 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:19 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:20 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:21 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:22 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:23 |      | 25000 | -100    | 11232  |      |
| 23:50:24 |      | 24999 | -100    | 11333  |      |
| 23:50:25 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:26 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:27 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:28 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:29 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:30 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:31 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:32 |      | 25002 | -100    | 11033  |      |
| 23:50:33 |      | 24999 | -100    | 11333  |      |
| 23:50:34 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:35 |      | 25002 | -100    | 11033  |      |
| 23:50:36 |      | 25002 | -100    | 11033  |      |
| 23:50:37 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:38 |      | 25002 | -100    | 11033  |      |
| 23:50:39 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:40 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:41 |      | 24999 | -100    | 11333  |      |
| 23:50:42 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:43 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:44 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |
| 23:50:45 |      | 24999 | -100    | 11333  |      |
| 23:50:46 |      | 24999 | -100    | 11333  |      |
| 23:50:47 |      | 25000 | -100    | 11233  |      |

Рисунок 3.2 – Как измерения выглядят в программе

Первый столбец – время, второй – температура (в тысячах для точности измерения), четвертый – сигнал (цифровой), который подается на транзистор.

```

Wrong targetT (must be >= 0). Value is not
dated
23:14:34      26000   -100   12975
23:14:35      25999   -100   13075
23:14:36      26000   -100   12975

kT_p = 100
Enter new kT_p:
kT_p>
Wrong kT_p (must be >= 0). Value is not up
dated
Input kT_i (now is 10):
kT_i>
Wrong kT_i (must be >= 0). Value is not up
dated
Input kT_d (now is 0):
kT_d>
Wrong kT_d (must be >= 0). Value is not up
dated
PID values: kT_p = 100, kT_i = 10, kT_d =

```

Рисунок 3.3 – Как выглядит настройка коэффициентов на месте

```

}
}
else if (readBuffer[readBufferCount] == READ_KEY_BS && readBufferCount != 0) // BACKSPACE
{
    readBufferCount--;
    putc(READ_KEY_BS);
    putc(' ');
    putc(READ_KEY_BS);
}
else if (readBufferCount == READ_BUFFER_SIZE - 2) // Почти переполнение и не Enter
{
    return; // Не двигаем указатель, ждём Enter или BS
}
else if (readBuffer[readBufferCount] == 0x14) // Ctrl+T - вводим время
{
    readMode = READ_MODE_T;
    printf("\r\nEnter time as hh:mm:ss:\r\n");
}
else if (readBuffer[readBufferCount] == 0x10) // Ctrl+P - вводим период измерений
{
    readMode = READ_MODE_P;
    printf("\r\nEnter measuring period:\r\n");
}
else if (readBuffer[readBufferCount] == 0x07) // Ctrl+G - вводим целевую температуру
{
    readMode = READ_MODE_TT;
    printf("\r\ntargetT = %u\r\nEnter new value:\r\n");
}
else if (readBuffer[readBufferCount] == 0x0A) // Ctrl+J - вводим коэф-ты ПИД термостата
{
    readMode = READ_MODE_KTP;
    printf("\r\nkT_p = %u\r\nEnter new kT_p:\r\n");
}

else if (readBuffer[readBufferCount] >= 0x20) // Обычные символы
{
    putc(readBuffer[readBufferCount++]);
}

```

Рисунок 3.4 – Как в программе выглядят все команды, которые можно задать удаленно

```

        printf("Wrong value (must be > 0). ");
    }
    else if (readMode == READ_MODE_TT) // Режим ввода targetT
    {
        readMode = READ_MODE_DEFAULT;
        long f = InputLong(0);
        if (f >= 0)
        {
            targetT = f;
        }
        else
            printf("Wrong targetT (must be >= 0). Value is not updated\r\n");
    }
    else if (readMode == READ_MODE_KTP) // Режим ввода kT_p
    {
        readMode = READ_MODE_KTI;
        long f = InputLong(0);
        if (f >= 0)
        {
            kT_p = f;
        }
        else
            printf("Wrong kT_p (must be >= 0). Value is not updated\r\n");
    }
    printf("Input kT_i (now is %u):\r\nkT_i> ", kT_i);
    else if (readMode == READ_MODE_KTI) // Режим ввода kT_i
    {
        readMode = READ_MODE_KTD;
        long f = InputLong(0);
        if (f >= 0)
        {
            kT_i = f;
        }
        else
            printf("Wrong kT_i (must be >= 0). Value is not updated\r\n");
    }
    printf("Input kT_d (now is %u):\r\nkT_d> ", kT_d);
    else if (readMode == READ_MODE_KTD) // Режим ввода kT_d
    {
        readMode = READ_MODE_DEFAULT;

```

Рисунок 3.5 – Код для режимов ввода



### 3.2 Корректировка параметров ПИД–регулятора

На этом этапе исследования на основе данных, полученных в результате тестирований, производилась корректировка параметров ПИД–регулятора. Это включило в себя перенастройку пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов для обеспечения более стабильного и эффективного контроля температуры. Изначальной целью являлось достижение оптимального баланса между быстродействием системы и минимизацией перерегулирований чтобы улучшить общую производительность макета.

Для повышения общей эффективности системы и сокращения энергопотребления дополнительно я проводила улучшение алгоритмов управления. Такой процесс включил в себя разработку более продвинутых алгоритмов прогнозирования, которые адаптировались к изменяющимся условиям окружающей среды и поведению пользователя, обеспечивая оптимальное использование энергии при сохранении комфортных условий.



Рисунок 3.6 – Изменение внешних условий

На графике предоставлены результаты проведения эксперимента по поддержанию внутренней температуры системы при экстремальном изменении внешних условий. В лаборатории открыли окно, и температура в помещении должна была понизиться до 13 С, что могло бы привести к падению градуса и в самой изолированной установке. Как мы можем видеть этого не случилось, и температура осталась без значительных колебаний в амплитуде. Что еще раз доказало эффективность рабочей модели, максимальное отклонение от заданной в программе температуры составило 0,023 градуса.

Использовались коэффициенты  $K_p=100$ ,  $K_i=10$ .



Рисунок 3.7 и 3.8– Отзв системы при нагревании

На графиках, которые я описываю, изображены результаты экспериментов, где исследуется влияние дифференциального коэффициента ( $K_d$ ) ПИД-регулятора на процесс управления. Основные коэффициенты пропорционального ( $K_p$ ) и интегрального ( $K_i$ ) управления остаются неизменными, что позволяет изолировать эффекты, вносимые  $K_d$ .

Тут я сравниваю процессы при тех же коэффициентах  $K_p$  и  $K_i$ , единственное отличие в экспериментах – это использование мной  $K_d$ . Как таковой график не особо меняется. Единственное что можно заметить это то, что регулирование проходит быстрее. Часть с активным нагреванием воздуха остается в пределах того же отрезка времени, как и при отсутствие какого-либо

значения  $K_d$ . А вот часть с приведением системы в равновесие уже радует небольшими изменениями в лучшую сторону.

Наблюдения указывают на то, что введение  $K_d$  улучшает скорость регулирования системы, в частности, ускоряет процесс стабилизации системы после возмущений. В первом случае эксперимент протекает в течении 2.10ч, а во втором 1.40ч.

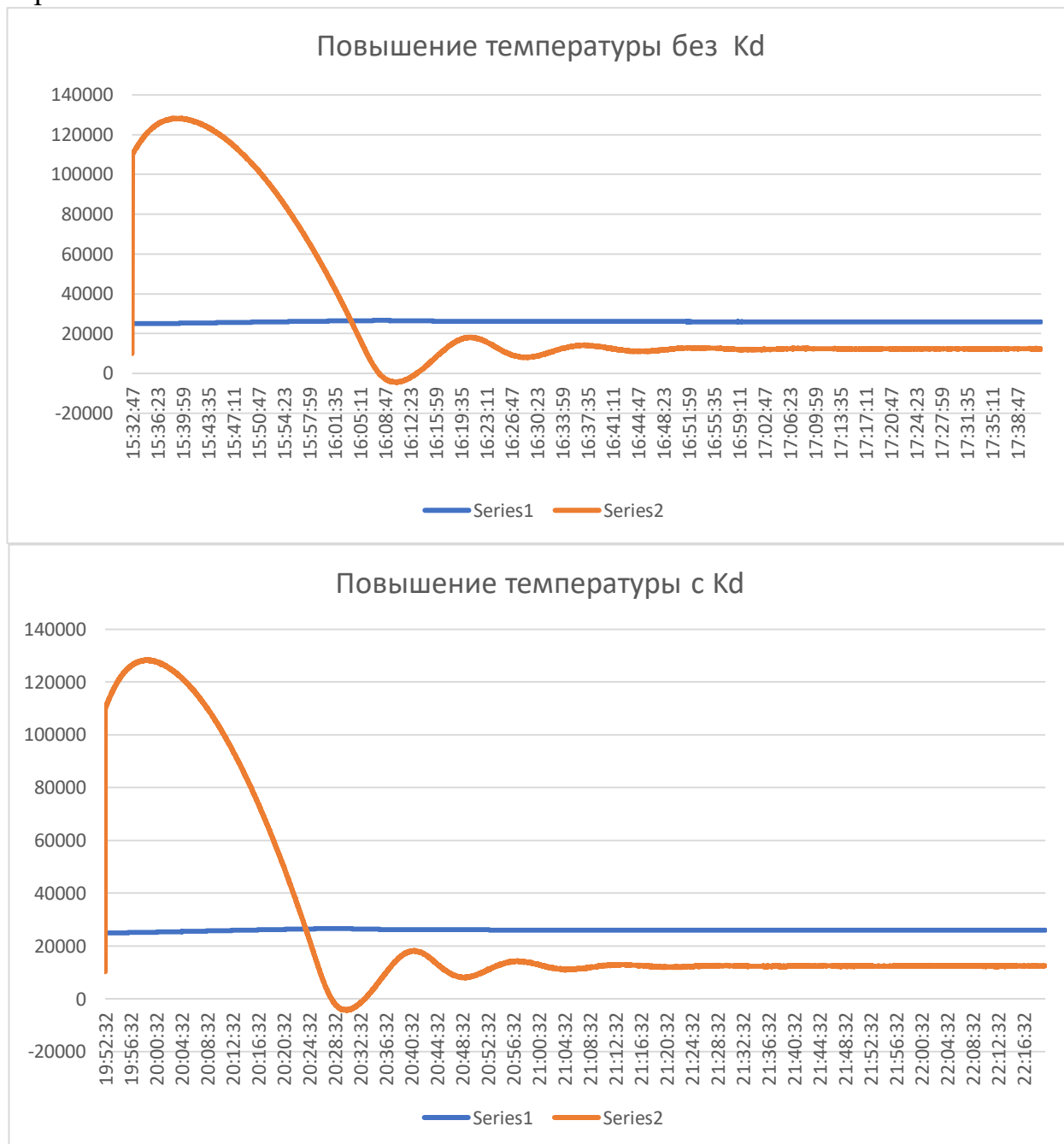


Рисунок 3.9 и 3.10 – Система при постепенном охлаждении

Честно говоря для этой части эксперимента (Рисунок 3.2.4) я также ожидала похожей реакции на присутствие в уравнении  $K_d$ . Но, к моему удивлению, при охлаждении системы разницы во времени протекания как таковой не было.

Сравнительное время получилось с разницей в 10 минут. Позволю себе напомнить, что для предыдущего эксперимента дельта была около полу часа.

Дифференциальный компонент в ПИД–регуляторе реагирует на скорость изменения ошибки, то есть на то, насколько быстро изменяется разница между желаемым и фактическим значением. Вводя  $K_d$ , я помогаю системе более агрессивно реагировать на изменения, что особенно полезно при сильных и быстрых возмущениях. В итоге перерегулирование уменьшается, ускоряя возвращение к установившемуся состоянию.

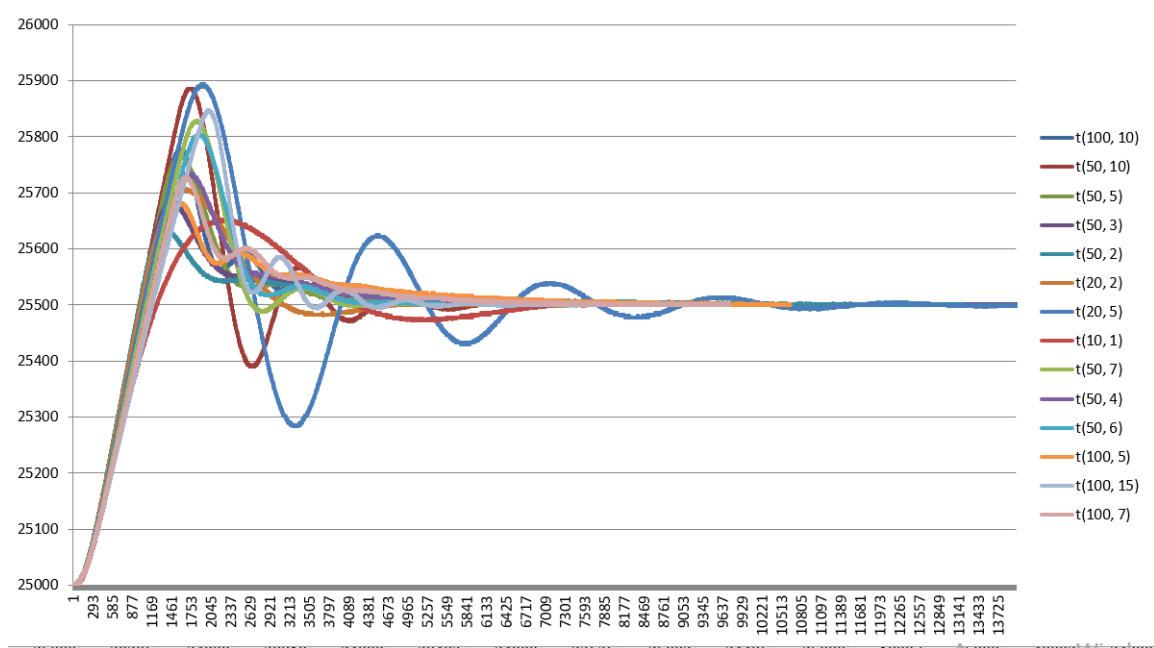


Рисунок 3.11 – На рисунке переходный процесс в зависимости от коэффициентов  $K_p$  и  $K_i$

Быстрый подъем и пиковые значения на графике (Рисунок 3.2.6) моих экспериментов указывают на высокий коэффициент пропорциональной составляющей ( $K_p$ ), который обеспечивает быструю реакцию системы на отклонения от заданного значения.

Затухающие колебания после пика иллюстрируют влияние дифференциальной составляющей ( $K_d$ ), которая помогает сгладить динамику системы, уменьшая колебания и ускоряя стабилизацию.

Постепенное сглаживание колебаний и выход на стабильное значение свидетельствует о вкладе интегральной составляющей ( $K_i$ ), которая помогает устранить остаточную статическую ошибку и стабилизировать систему на заданном уровне.

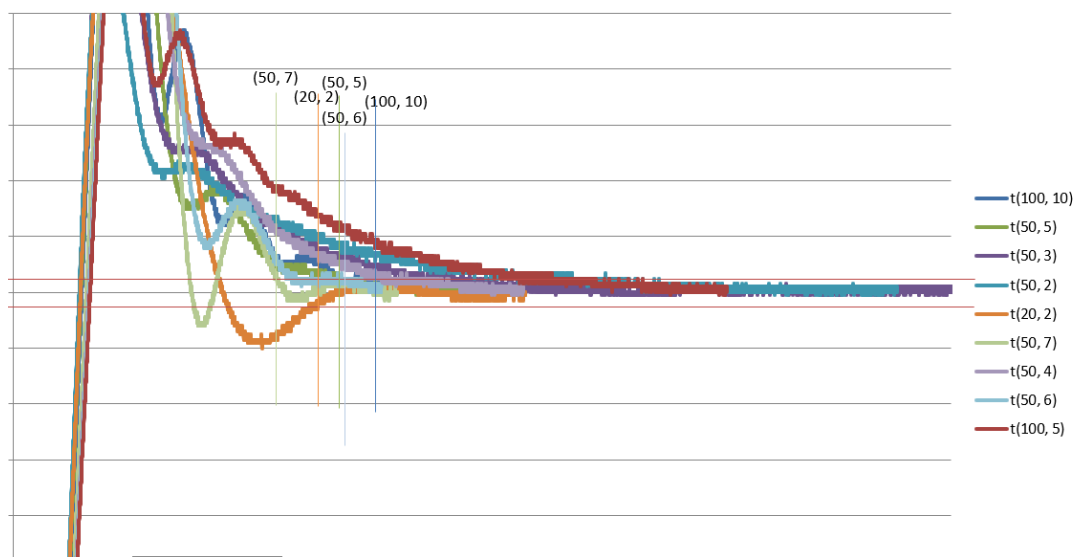
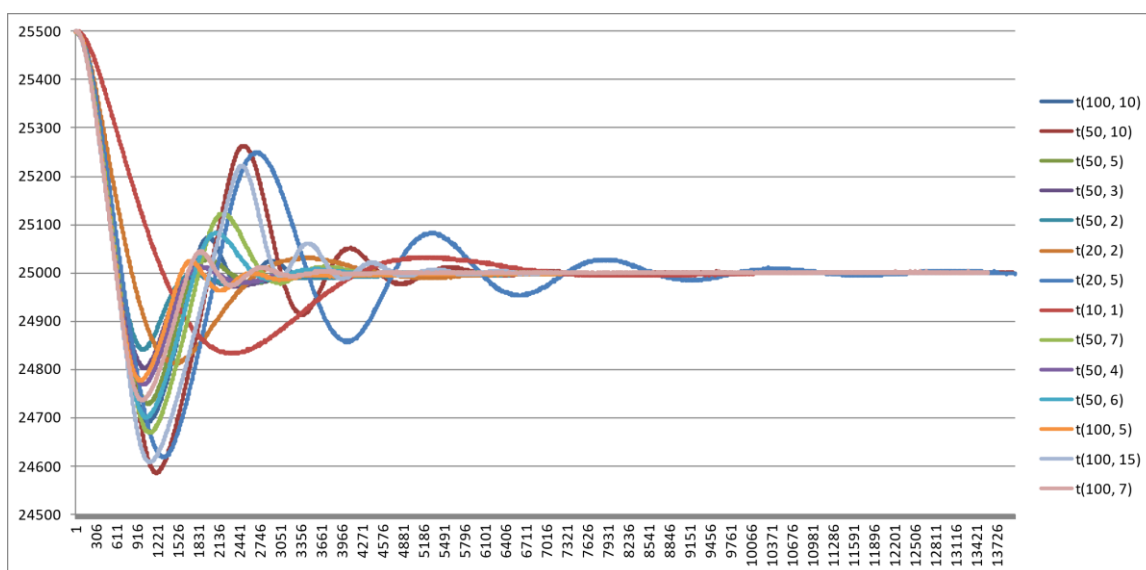


Рисунок 3.12– График при поднятии температуры

Таблица 3.1 – представлены лучшие 5 сочетаний коэффициентов  $K_p$  и  $K_i$

| № | Анализ вверх |       |
|---|--------------|-------|
|   | $K_p$        | $K_i$ |
| 1 | 50           | 7     |
| 2 | 20           | 2     |
| 3 | 50           | 5     |
| 4 | 50           | 6     |
| 5 | 100          | 10    |

Теперь мы будем смотреть как те же коэффициенты будут себя вести, когда мы понижаем температуру:



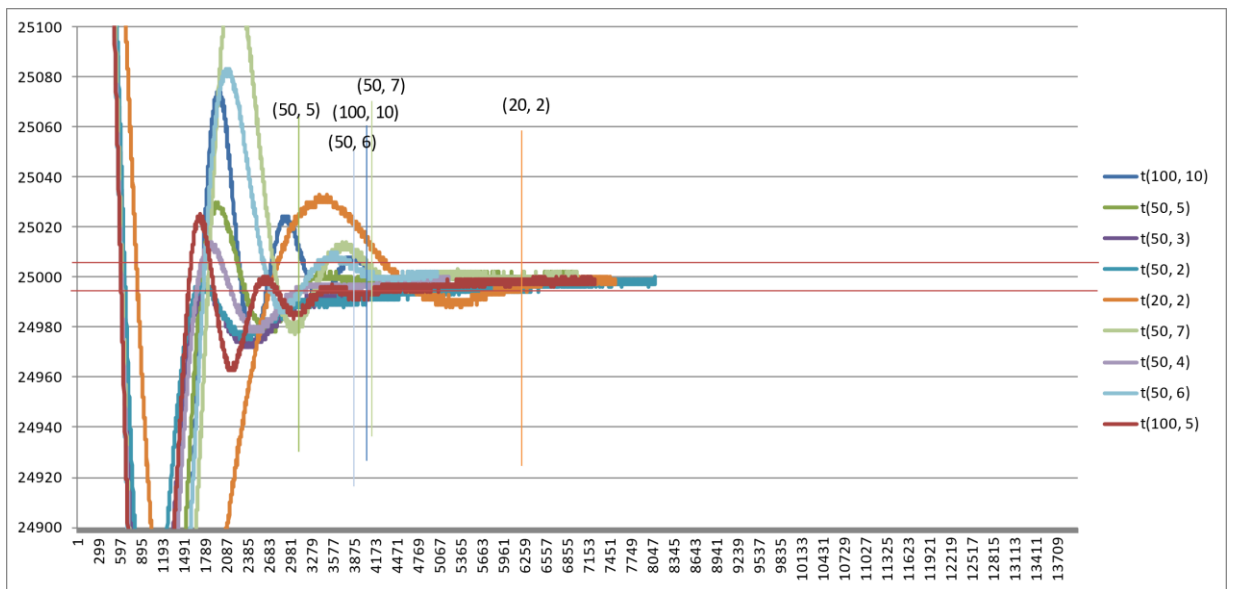


Рисунок 3.13 и 3.14 – График при понижении температуры

При снижении температуры, финалистами по самым удачным и адекватным графикам стабилизации вышли эти пять сочетаний, что в принципе осталось тем же самым.

Таблица 3.2 – Таблица с самыми удачными коэффициентами при процессе с понижением температуры

| № | Анализ вниз |    |
|---|-------------|----|
|   | Kp          | Ki |
| 1 | 50          | 5  |
| 2 | 50          | 6  |
| 3 | 50          | 7  |
| 4 | 20          | 2  |
| 5 | 100         | 10 |

Тестирование разработанного термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов является важным этапом, позволяющим оценить его работоспособность, надежность и соответствие заявленным характеристикам. Процесс подразумевал под собой включение в себя проверки всех компонентов системы и их взаимодействия в различных условиях эксплуатации.

На начальных этапах тестирования я проводила испытания в лаборатории, в ходе которых мною проверялись точность и стабильность поддержания температуры. Было важно убедиться, что система способна поддерживать заданные температурные параметры с минимальными отклонениями. Для этого использовались высокоточные эталонные термометры и программное

обеспечение для записи данных, что позволило детально анализировать работу системы.

Особое внимание уделялось проверке системы управления. Тестирование включало симуляцию различных сценариев, в которых изменялись внешние условия, такие как колебания окружающей температуры и наличие внешних тепловых источников. Это позволило оценить адаптивность и быстродействие системы, а также её способность корректировать работу в реальном времени для поддержания стабильной температуры.

Полевые испытания проводились в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации. В ходе этих испытаний термостат использовался для проведения различных экспериментов, требующих точного контроля температуры. Эти тесты показали, что система справляется с поставленными задачами и может быть эффективно использована для дистанционного управления экспериментами.

Тестирование также включало проверку дистанционного управления и мониторинга. Было важно убедиться, что пользователь может надежно управлять термостатом и получать актуальную информацию о состоянии системы на расстоянии. В ходе этих испытаний проверялись различные способы подключения, включая использование интернет-соединения и беспроводных технологий.

Результаты тестирования показали, что разработанный термостат соответствует заявленным требованиям по точности, стабильности и надежности. Система продемонстрировала высокую производительность в различных условиях, что подтверждает её готовность к практическому использованию. Тестирование выявило несколько областей для возможного улучшения, что позволит в дальнейшем повысить эффективность и удобство использования системы.

Таким образом, процесс тестирования подтвердил успешность разработанных решений и показал, что термостат с цифровым управлением может быть надежным инструментом для проведения дистанционных экспериментов.

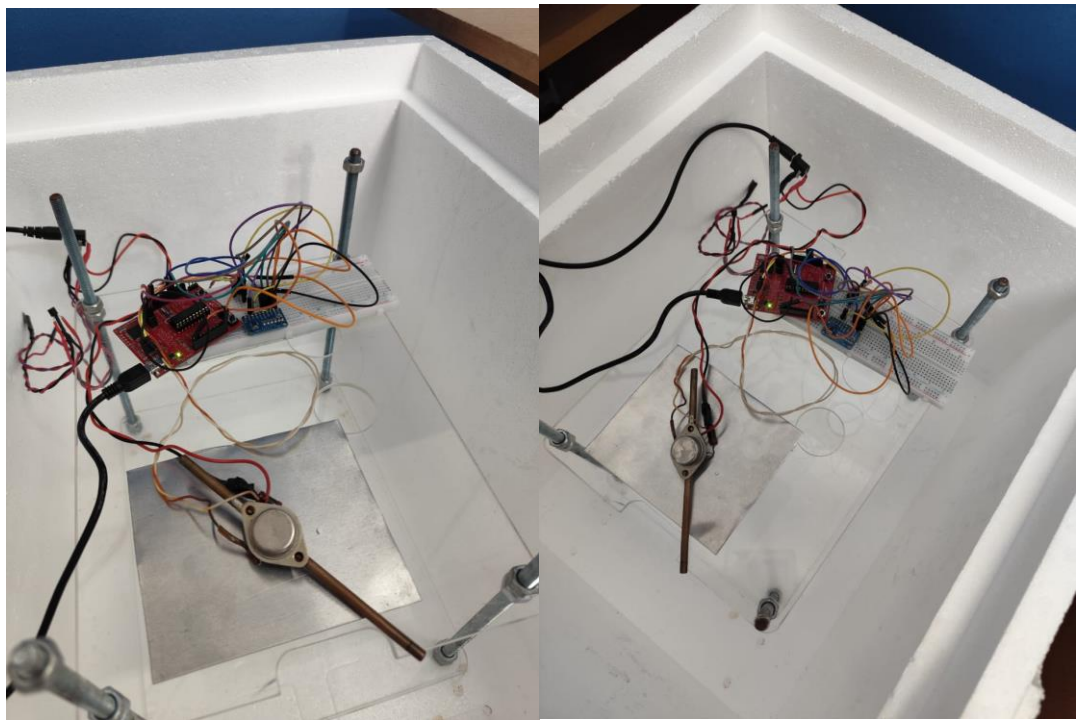


Рисунок 3.15 – Фотографии установки в лабораторных условиях

```

@ main.c  msp430g2553.h  main — копия.c
159 void TimerSetup(void)
160 {
161     // Таймер 0 - кварц - для прерываний раз в секунду
162     CCR0 = 32767; // 1 раз в секунду
163     TACTL = TASSEL_1 + MC_1; // ACLK - 32768 раз в секунду
164     CCTL0 = CCIE;
165
166     // Таймер 1 - 50 Гц, ШИМ для сервомотора
167     P2DIR |= BIT2; // P2.2 - выход TA1.1
168     P2SEL |= BIT2;
169
170     TA1CCR0 = MAX_TIMER_VALUE; // 1 МГц/20000 = 50 Гц
171     //TA1CCR1 = T_MIN; // длительность импульса в мкс
172     TA1CTL = TASSEL_2 + MC_1; // Таймер работает от SMCLK с частотой 1 МГц
173     TA1CCTL1 = OUTMOD_7;
174     TA1CCTL0 |= CCIE;
175 }
176
177 void ADC10Setup(void)
178 {
179     ADC10AE0 = ADC_A_PORT + ADC_B_PORT;
180 }
181
182 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
183 void Measure(void)
184 {
185     channel = CHANNEL_T; // T channel first
186     StartSampling();
187
188     MeasureADS1115(0); // AIN0-AIN1
189     valueTMP1 = (unsigned char)res[1];
190     valueTMP1 += (unsigned int)(res[0] << 8);
191     //digitsTMP1 = ((long)valueTMP1 * 20480L / 65535L - 5000L);
192     digitsTMP1 = ((long)valueTMP1 * 102400L / 65535L);
193     digitsTMP1 -= 473; // Калибровка температурного датчика TMP
194
195     MeasureADS1115(1); // AIN2-AIN3
196     valueTMP2 = (unsigned char)res[1];
197     valueTMP2 += (unsigned int)(res[0] << 8);
198     //digitsTMP2 = ((long)valueTMP2 * 20480L / 65535L - 5000L);
199     digitsTMP2 = ((long)valueTMP2 * 102400L / 65535L);
200     digitsTMP2 -= 100; // Калибровка температурного датчика TMP

```

Рисунок 3.16– Предварительная настройка микроконтроллера



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении проекта по разработке термостата с цифровым управлением для проведения удаленных экспериментов выделяется ряд ключевых аспектов и достижений, которые были реализованы в ходе работы.

Применение ПИД–регулятора позволило добиться высокой точности контроля температуры, что очень важно для проведения удаленных экспериментов. Адаптация коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  оказала значительное влияние на стабильность и отзывчивость системы, сократив время управления и минимизировав колебания в ответ на возмущения.

Использование современных технологий и инструментов, таких как EasyEDA для проектирования печатных плат и выбора оптимальных компонентов, таких как температурные датчики и транзисторы, способствовало созданию надежной и эффективной системы. Программное обеспечение обеспечило удобное и точное управление процессом, а также возможность мониторинга и адаптации параметров в режиме реального времени.

Система термостата демонстрирует высокую применимость в различных областях, включая научные исследования, промышленное производство и управление энергопотреблением в быту. Возможности дистанционного управления и мониторинга особенно ценны в условиях, где требуется точный контроль условий окружающей среды.

Проект продемонстрировал потенциал для дальнейшего совершенствования и настройки. Возможности расширения функциональности, включая интеграцию IoT и усовершенствованные алгоритмы обработки данных, открывают перспективы для будущих улучшений и использования системы в

В заключение следует отметить, что проект по разработке термостата с цифровым управлением успешно демонстрирует, как современные технологии могут быть применены для создания высокоэффективных и адаптивных систем управления. Это исследование открывает двери для дальнейших инноваций в области автоматического контроля температуры, предоставляя ценные уроки и направления для будущих разработок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.И., Болтунов Г.И., Мансурова О.К. Цифровые системы управления: Учебное пособие. – Санкт–Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 133 с.
2. Семейство микроконтроллеров MSP430x2xx. Архитектура. Программирование. Разработка приложений. – М.: ДМК–Пресс, 2015 г. – 544 с.
3. Хоровиц, Хилл: Искусство схемотехники. Бином. 2022 г. 704 с.
4. Ю.Ревич. Занимательная электроника. БХВ–Петербург ВHV, 2017 г. – 640 с.
5. "Automatic Control Systems" by Benjamin C. Kuo
6. "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning" by Tore Hagglund and Karl Johan Astrom.
7. "Digital Control of Dynamic Systems" by Gene F. Franklin, J. David Powell, and Michael L. Workman
8. "Practical Electronics for Inventors" by Paul Scherz and Simon Monk
9. "A Review of PID Control, Tuning Methods, and Applications" – Опубликовано в IEEE Transactions on Control Systems Technology
10. "Modern Control Engineering" by Katsuhiko Ogata

## РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Нурмагомедова Милана Руслановна

специальность 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering

На тему: Разработка термостата с цифровым управлением для  
дистанционных экспериментов

### ЗАМЕЧАНИЕ К РАБОТЕ

В работе студентки Нурмагомедовой Миланы Руслановны дается тема Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов, отличающаяся особенностью работы, а так же подразумевает разработку программы микроконтроллера для управления термостатом.

В первой главе описываются теоретические основы терморегуляции и цифрового управления.

Во второй главе рассмотрено уже проектирование самого термостата с последующим выбором деталей для физического макета.

В третьей главе рассмотрено тестирование модели и последующая оптимизация проходящих процессов.

### Оценка работы

Студентка показала хорошее знание теоретического материала, работа выполнена согласно заданию к ДР, соблюдены все стандарты университета по написанию дипломных работ.

Считаю, что дипломная работа выполнена на хорошо, B+ (87%) а дипломант, Нурмагомедова Милана, заслуживает присвоения академической степени бакалавра специальности 6B07112 – Electronic and Electrical Engineering.

Рецензент

PhD, ассоц.проф.,

Алматинского университета

энергетики и связи им. Г.Даукеева

«27» 05 2024 г.



Алмуратова Н.К.

**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу

Нурмагомедова Милана Руслановна

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тема: «Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов»

Дипломная работа состоит из: введения, анализа существующих систем термостатирования, выбора схемных, конструктивных и программных решений для системы управления, сборки макета, выводов, списка литературы.

Цель работы была в разработке устройства для проведения удалённых экспериментов, которое будет поддерживать температуру в камере. В итоге был собран макет, проведены эксперименты и достигнуты удовлетворительные результаты с контролируемой температурой с точностью в 0.001. Температура задается с внешнего компьютера через команды с терминальной программы. Текущая температура должна выводиться в терминальную программу с задаваемой частотой. Основные выводы содержатся в заключении.

Дипломная работа Нурмагомедовой Миланы Руслановны может быть рекомендована к защите с присвоением ей академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07104 «Electronic and Eletrical Engineering» и оценивается на оценку 90 (отлично).

Научный руководитель:  
ассоц-профессор, к.т.н



Жигалов В. А.

« 31 » 05 2024 г.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Нурмагомедова Милана Руслановна

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов

**Научный руководитель:** Сүңғат Марксұлы

**Коэффициент Подобия 1:** 6.8

**Коэффициент Подобия 2:** 1.2

**Микропробелы:** 2

**Знаки из других алфавитов:** 8

**Интервалы:** 9

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-30

*Дата*



Сүңғат Марксұлы

*проверяющий эксперт*

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Нурмагомедова Милана Руслановна

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов

**Научный руководитель:** Сунғат Марксұлы

**Коэффициент Подобия 1:** 6.8

**Коэффициент Подобия 2:** 1.2

**Микропробелы:** 2

**Знаки из здругих алфавитов:** 8

**Интервалы:** 9

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-30

*Дата*

*Заведующий кафедрой*



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Нурмагомедова Милана Руслановна**

**Тақырыбы: Разработка термостата с цифровым управлением для дистанционных экспериментов**

**Жетекшісі: Сұнғат Марксұлы**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.8**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.2**

**Дәйексөз (35): 1.1**

**Әріптерді ауыстыру: 8**

**Аралықтар: 9**

**Шағын кеңістіктер: 2**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

**2024-05-30**

*Күні*

*Кафедра меңгерушісі*

