

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики

Направление подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»

Кафедра автоматики и компьютерных систем

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Разработка SCADA системы автоматического регулирования процессов в печах на основе Arduino |

УДК 681.518.3

Студент

| Группа | ФИО                       | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 8A21   | Петровская Софья Павловна |         |      |

Руководитель

| Должность        | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Суходоев М.С. | К.Т.Н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                     | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент каф.<br>Менеджмента | Николаенко В.С. | —                         |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность       | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ЭБЖ | Антоневич О.А. | К.Т.Н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой    | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Фадеев А.С. | К.Т.Н.                    |         |      |

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(Выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| P1                                  | Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.                                                                                                                                         |
| P2                                  | Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники                                                                                                                                                                                               |
| P3                                  | Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств. |
| P4                                  | Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.                                              |
| P5                                  | Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами.                                                                                                                                                                                                                           |
| P6                                  | Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами.                                                                                     |
| P7                                  | Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре                                         |
| <b>Универсальные компетенции</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| P8                                  | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.                                                                                                                                                                                     |
| P9                                  | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.                                         |
| P10                                 | Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.                                             |
| P11                                 | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.                                                                                                                                                                                                             |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт кибернетики  
Кафедра автоматизации и компьютерных систем  
Направление 27.03.04 «Управление в технических системах»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой АиКС ИК  
\_\_\_\_\_ Фадеев А.С.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                     |
|---------------------|
| бакалаврской работы |
|---------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                       |
|--------|---------------------------|
| 8А21   | Петровской Софье Павловне |

Тема работы:

|                                                                                               |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Разработка SCADA системы автоматического регулирования процессов<br>в печах на основе Arduino |  |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                                   |  |

|                                          |  |
|------------------------------------------|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|------------------------------------------|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>– контроллер Arduino UNO;</li><li>– учебный стенд с тепловым объектом;</li><li>– персональный компьютер.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>– модернизация учебного стенда теплового объекта;</li><li>– разработка алгоритмического и программного обеспечений для получения данных с теплового объекта с использованием контроллера Arduino;</li><li>– настройка программного обеспечений для реализации протокола связи Arduino с OPC сервером;</li><li>– разработка SCADA системы теплового объекта.</li></ul> |
| <b>Перечень графического материала</b>                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:

| Раздел                                                             | Консультант     |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Финансовый менеджмент,<br>ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Николаенко В.С. |
| Социальная ответственность                                         | Антоневич О.А.  |

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

Задание выдал руководитель:

| Должность        | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Суходоев М.С. | К.Т.Н.                    |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО             | Подпись | Дата |
|--------|-----------------|---------|------|
| 8A21   | Петровская С.П. |         |      |

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики

Направление подготовки (специальность) 27.03.04 «Управление в технических системах»

Уровень образования – бакалавриат

Кафедра автоматики и компьютерных систем

Период выполнения весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

|                     |
|---------------------|
| бакалаврская работа |
|---------------------|

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

|                                          |  |
|------------------------------------------|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|------------------------------------------|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)           | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|               | Основная часть                                                  | 75                                 |
|               | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 15                                 |
|               | Социальная ответственность                                      | 10                                 |

Составил преподаватель:

| Должность        | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Суходоев М.С. | к.т.н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой  | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Зав. каф. АиКС | Фадеев А.С. | к.т.н.                 |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО                       |
|--------|---------------------------|
| 8A21   | Петровской Софье Павловне |

| Институт            | ИК       | Кафедра                   | АиКС                                       |
|---------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------------|
| Уровень образования | бакалавр | Направление/специальность | 27.03.04 Управление в технических системах |

|                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>                                                                                                             |                                                                                                                                                             |
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих                                                                            | В рамках работы осуществлялась разработка SCADA-системы регулирования процессов в печах на основе Arduino в лабораторных условиях.                          |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                             |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                                                                                             |                                                                                                                                                             |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                                                                                                 |                                                                                                                                                             |
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения                                                                              | Оценка потенциальных потребителей, определение конкурентоспособности разрабатываемой системы, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИ. |
| 2. Планирование проведения и формирование бюджета научных исследований                                                                                                                                          | Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НИ, разработка графика проведения НИ, планирование бюджета НИ.                                          |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования                                                                                     | Определение финансовой и бюджетной эффективности.                                                                                                           |
| <b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>                                                                                                                              |                                                                                                                                                             |
| 1. Оценка конкурентоспособности технических решений<br>2. Матрица SWOT<br>3. Альтернативы проведения НИ<br>4. График проведения и бюджет НИ<br>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ |                                                                                                                                                             |

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

Задание выдал консультант:

| Должность                     | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|-----------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры менеджмента | Николаенко В.С. | -                      |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                       | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 8A21   | Петровская Софья Павловна |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                |
| 8A21          | Петровской Софье Павловне |

|                            |                      |                                  |                                   |
|----------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Институт</b>            | Институт кибернетики | <b>Кафедра</b>                   | Автоматики и компьютерных систем  |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат          | <b>Направление/специальность</b> | Управление в технических системах |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|                                                                        |                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Характеристика объекта исследования и области его применения</b> | В рамках работы осуществлялась разработка SCADA-системы регулирования процессов в печах на основе Arduino в лабораторных условиях. |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

|                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Производственная безопасность</b><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:<br>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:      | Выявление и анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке или эксплуатации системы управления.<br>Вредные факторы:<br>– повышенная или пониженная температура рабочей зоны;<br>– повышенный уровень шума на рабочем месте;<br>– недостаточная освещенность рабочей зоны;<br>– повышенный уровень электромагнитных излучений;<br>– перенапряжение зрительного анализатора.<br>Опасные факторы:<br>– повышенное значение напряжения в электрической цепи. |
| <b>2. Экологическая безопасность</b>                                                                                                                                                                                                           | При эксплуатации компьютера и технического оборудования в текущем исследовании могут быть выявлены негативные воздействия на литосферу в виде промышленных отходов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b><br>– общие правила поведения в чрезвычайных ситуациях.                                                                                                                                        | Выявление чрезвычайных ситуаций, таких как взрыв и пожар, которые могут возникнуть в процессе работы в офисном помещении.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b><br>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) режим труда и отдыха при работе с компьютером;<br>– требования к организации и оборудованию рабочих мест. | Определены специальные правовые нормы в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, регламентирующие деятельность работника с использованием ПЭВМ. На основе СанПиН 2.2.542-96 определены основные требования к организации рабочего места.                                                                                                                                                                                                                                             |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

|                  |                            |                               |                |             |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                 | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент           | Антоневич Ольга Алексеевна |                               |                |             |

Задание принял к исполнению студент:

|               |                           |                |             |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 8A21          | Петровская Софья Павловна |                |             |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 73 страницы, 27 рисунков, 21 таблиц, 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: САР, SCADA, микроконтроллер Arduino, OPC, Modbus, регулирование, ШИМ, фильтрация.

Объектом исследования является система автоматического регулирования процессов в печах.

Цель работы – разработка SCADA системы автоматического регулирования процессов в печах на основе микроконтроллера Arduino UNO.

В процессе исследования модернизирован лабораторный стенд регулирования температуры упрощенного теплового объекта на базе микроконтроллера Arduino UNO, опираясь на рассчитанные параметры регулирования системы, и установлена связь со SCADA системой.

В результате исследования написана программа, обеспечивающая обмен данными между микроконтроллером и датчиком температуры, автоматическое регулирование технологическим процессом на основе ПИ-регулирования и ШИМ, а также осуществлен обмен данными между исследуемой системой и OPC сервером с помощью протокола Modbus.

Областью применения модернизированного лабораторного стенда является лаборатория кафедры АиКС.

Экономическая эффективность и значимость работы, себестоимость исследуемой системы представлена в главе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Выявлены основные опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть в процессе работы с разрабатываемой системой управления, разработаны меры по снижению воздействий системы на экологию, что представлено в главе социальная ответственность.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ**

OPC (OLE for Process Control – Object Linking and Embedding) – набор правил и методов, обеспечивающий обмен данными в системах управления и контроля.

Modbus – открытый протокол, имеющий в основе архитектуру ведущий-ведомый.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – программный пакет, обеспечивающий сбор, обработку и отображение данных в режиме реального времени.

Микроконтроллер – микросхема, выполняющая различные функции и выполненная в виде мини-компьютера.

ОУ – объект управления.

ПФ – передаточная функция.

САР – система автоматического регулирования.

ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

## Оглавление

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                                                                                 | 12 |
| 1 Основные понятия системы с автоматическим регулированием                                                                               | 14 |
| 1.1 Понятие автоматическое регулирование                                                                                                 | 14 |
| 1.2 Законы регулирования                                                                                                                 | 15 |
| 1.3 Оценка качества САР                                                                                                                  | 16 |
| 2 САР температуры                                                                                                                        | 18 |
| 2.1 Принцип работы                                                                                                                       | 18 |
| 3 Поиск оптимального закона регулирования                                                                                                | 22 |
| 3.1 Определение передаточной функции системы                                                                                             | 22 |
| 3.2 Выбор закона регулирования                                                                                                           | 25 |
| 3.3 Поиск настройки ПИ-регулятора                                                                                                        | 26 |
| 3.3.1 Метод Зиглера-Никольса.....                                                                                                        | 26 |
| 3.3.2 Метод CHR.....                                                                                                                     | 29 |
| 3.3.3 Метод ручной подстройки.....                                                                                                       | 32 |
| 4 Обеспечение корректной работы реле и фильтрация сигнала                                                                                | 34 |
| 4.1 Широтно-импульсная модуляция                                                                                                         | 34 |
| 4.2 Первичная обработка сигнала                                                                                                          | 36 |
| 5 Визуализация технологического процесса                                                                                                 | 38 |
| 5.1 Основные структурные компоненты SCADA системы                                                                                        | 38 |
| 5.2 Установление связи между микроконтроллером и SCADA системой                                                                          | 39 |
| 5.3 Отражение технологического процесса в режиме реального времени                                                                       | 41 |
| 5.4 Интерфейс SCADA системы САР температуры                                                                                              | 42 |
| Заключение                                                                                                                               | 44 |
| Conclusion                                                                                                                               | 45 |
| 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                        | 46 |
| 6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 46 |
| 6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....                                                                            | 46 |
| 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....                                                                                      | 47 |
| 6.1.3 SWOT-анализ.....                                                                                                                   | 49 |
| 6.2 Определение возможных альтернатив проведения исследований                                                                            | 51 |
| 6.3 Планирование научно-исследовательских работ                                                                                          | 51 |
| 6.3.1 Структура в рамках научного исследования .....                                                                                     | 51 |
| 6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....                                                                                     | 53 |
| 6.3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....                                                                                 | 57 |
| 7 Социальная ответственность                                                                                                             | 61 |
|                                                                                                                                          | 10 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1 Производственная безопасность                                                                                 | 61 |
| 7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....                          | 63 |
| 7.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. .... | 64 |
| 7.2 Экологическая безопасность                                                                                    | 66 |
| 7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях                                                                         | 68 |
| 7.3.1 Общий порядок действий при возникновении пожара.....                                                        | 69 |
| 7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности                                                   | 69 |
| 7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....                                                 | 69 |
| 7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....                                               | 70 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ                                                                                    | 71 |
| Приложение А                                                                                                      | 74 |

## **Введение**

Актуальность дипломной работы заключается в разработке SCADA системы автоматического регулирования процессов в печах на основе микропроцессорной платы Arduino UNO, что позволит поддерживать в исследуемой системе требуемый режим работы без прямого участия человека, обязанностью которого остается только настройка регулятора на определенный режим и его запуск.

Arduino UNO - микроконтроллер, который обладает компактными габаритными размерами, возможностью простого подключения различного рода датчиков и может передавать данные, используя протокол Ethernet, по средствам платы расширения – Shield. Обладает простой и понятной средой программирования для микроконтроллеров, язык программирования подобен языкам C/C++. Низкая стоимость, возможность приема аналоговых и цифровых сигналов от различных датчиков, подключенных к платформе такого рода, управление исполнительными устройствами являются основными достоинствами программируемой платы. За счет этого микроконтроллер Arduino UNO получил широкое распространение в сфере моделирования объектов автоматизации, а также используется с целью изучения особенностей технологического процесса в лабораторных условиях.

Целью исследования данной работы стоит разработка и настройка регулятора на базе компактного и высокоскоростного микроконтроллера Arduino UNO для управления технологическими процессами, а также связь SCADA системы, которая позволит осуществить процесс сбора информации в режиме реального времени с исследуемой системы и обеспечит процесс дистанционного управления системой, на основе полученных данных.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1. Изучение теплового объекта управления и его принципа работы;
2. Изучение основных технических характеристик и среды программирования микроконтроллера Arduino UNO;

3. Исследование переходного процесса системы и настройка регулятора;
4. Обеспечение связи между микроконтроллером и SCADA системой;
5. Визуализация технологического процесса.

## **1 Основные понятия системы с автоматическим регулированием**

### **1.1 Понятие автоматическое регулирование**

Автоматическое регулирование – это область автоматики, которая включает в себя комплекс методов и средств, позволяющих в определенный отрезок времени обеспечить заданное состояние технологического процесса с требуемой точностью, либо предопределить ход этого процесса в соответствии с заранее заданным законом, зависящем от определенных условий протекающего процесса.

Системы с использованием такого рода регулирования получили широкое практическое применение еще в конце прошлого столетия, но и в настоящее время, усовершенствованные их прототипы применяются в разнообразных отраслях промышленности, в таких как металлургия, нефтегазовая, машиностроительная, энергетическая, для регулирования температуры, уровня, давления и расхода.

Регулятор – автоматическое управляющее устройство, работающее по замкнутому циклу и предназначенное для стабилизации какого-либо параметра. [1] По виду регулируемого параметра их можно разделить на регуляторы, давления, уровня, температуры, мощности, напряжения и другие.

Автоматический регулятор представляет собой совокупность устройств, присоединенных к управляемому объекту для регулирования его выходной величины. К выходу объекта присоединяется измерительный элемент, контролирующий выходную величину, а к регулируемому органу объекта – исполнительный элемент, при отклонении регулируемого параметра объекта от заданного значения регулятор в соответствии с заложенным в него законом формирует управляющее воздействие на регулируемый орган, чтобы уменьшить отклонение. [1]

Системы, реализуемые на производстве, обладают широким спектром регулируемых параметров, что усложняет сам процесс регулирования и их

разработку, поэтому в данной работе проводится исследование над упрощенной моделью системы.

## **1.2 Законы регулирования**

Закон регулирования, который формирует регулятор, представляет зависимость между регулируемым параметром и положением регулирующего органа. Регуляторы принято называть соответственно тому закону регулирования, который он реализует. [1]

Краткая характеристика основных законов регулирования:

### **1. Пропорциональный (П-регулятор):**

- Достоинства: быстрое действие;
- Недостатки: остаточное отклонение регулируемого параметра;
- Особенности: может использоваться для регулирования объектов без самовыравнивания и при частых отклонениях нагрузки.

### **2. Интегральный (И-регулятор):**

- Достоинства: в установившемся режиме значение регулируемого параметра остается постоянным независимо от изменения нагрузки объекта (астатический регулятор);
- Недостатки: большое время регулирования;
- Особенности: неприменим на объектах без самовыравнивания.

### **3. Пропорционально-интегральный (ПИ-регулятор):**

- Особенности: может применяться как для объектов с самовыравниванием, так и без самовыравнивания в тех случаях, когда необходима большая точность регулирования при больших, но плавных изменениях нагрузки.

### **4. Пропорционально-интегральный-дифференциальный (ПИД-регулятор):**

- Особенности: применяется на объектах, не допускающих статической ошибки, нагрузка которых меняется часто, а также имеется запаздывание. Регулирующий орган ПИД-регулятора перемещается

пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемого параметра.

На производстве широкое применение получили релейные регуляторы, у которых регулирующий орган перемещается скачком из одного крайнего положения в другое каждый раз, когда регулируемый параметр достигает порогового значения. Существует два типа такого регулятора: двухпозиционный, трехпозиционный. Особенности двухпозиционного регулятора:

- Применяется для управления объектами с малым запаздыванием и с большой постоянной времени: например, для регулирования уровня воды в резервуарах, для регулирования температуры и влажности.
- Поддерживает среднее заданное значение регулируемого параметра, при этом сам параметр изменяется, совершая незатухающие колебания, амплитуда и период колебаний зависят от зоны нечувствительности регулятора.

### 1.3 Оценка качества САР

Оценка качества процесса регулирования является основной составляющей анализа качества работы устойчивых САР, поэтому для различных методов регулирования используются следующие показатели:

1. Установившееся отклонение  $y_{уст}$ , под которым понимается значение регулируемой величины  $y$  по истечении сколь угодно большого отрезка времени после начала переходного процесса, то есть  $y_{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} (y)$ , где величина  $y$  характеризует точность системы в установившемся режиме.

2. Время регулирования  $t_n$  (время переходного процесса), по истечении которого обеспечивается условие  $|y(t) - y_{уст}| \leq \Delta$ , где  $\Delta$  - заданная точность регулирования, а величина  $t_n$  определяет быстродействие системы.

3. Максимальное перерегулирование:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\%,$$

где  $y_{\max}$  - максимальное отклонение регулируемой величины. Величина  $\sigma$  характеризует точность системы в переходном процессе и обычно не должна превышать 40%.

4. Число перерегулирований  $\delta$ , то есть число максимумов функции  $y(t)$  за время переходного процесса, больших по значению, чем  $y_{уст} + \Delta$ . Величина  $\delta$  характеризует колебательность системы. Обычно приемлемым считается  $\delta = 1 \div 2$ , но в некоторых случаях колебательность вообще не допускается. [3]

## 2 САР температуры

Наглядным примером системы автоматического регулирования может служить модель САР температуры, изображенная на рисунке 1, где регулируемым объектом является электропечь ПЭВР-25, измерительным элементом – датчик температуры, преобразующим элементом – реле, а исполнительным – микроконтроллер.

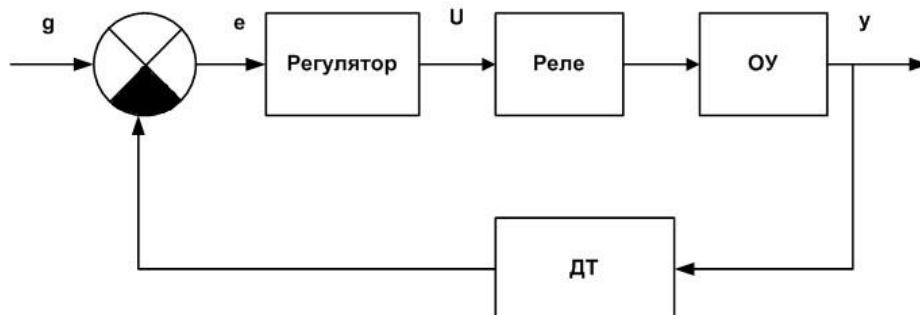


Рисунок 1 – Общая структурная схема САР температуры

Условные обозначения: ОУ – объект управления, ДТ – датчик температуры,  $g$  – управляющее воздействие,  $e$  – сигнал рассогласования,  $U$  – выходная величина регулятора,  $y$  – регулируемая величина.

### 2.1 Принцип работы

Принцип работы такой системы заключается в следующем: аналоговый датчик температуры Texas Instruments LM335 формирует напряжение, пропорциональное температуре объекта управления ПЭВР-25, поступающее на вход микроконтроллера Arduino UNO, который программно преобразует его в градусы Цельсия и осуществляет регулирование температуры в соответствии с заданным законом регулирования. Для охлаждения объекта предусмотрен вентилятор. (рисунок 2)

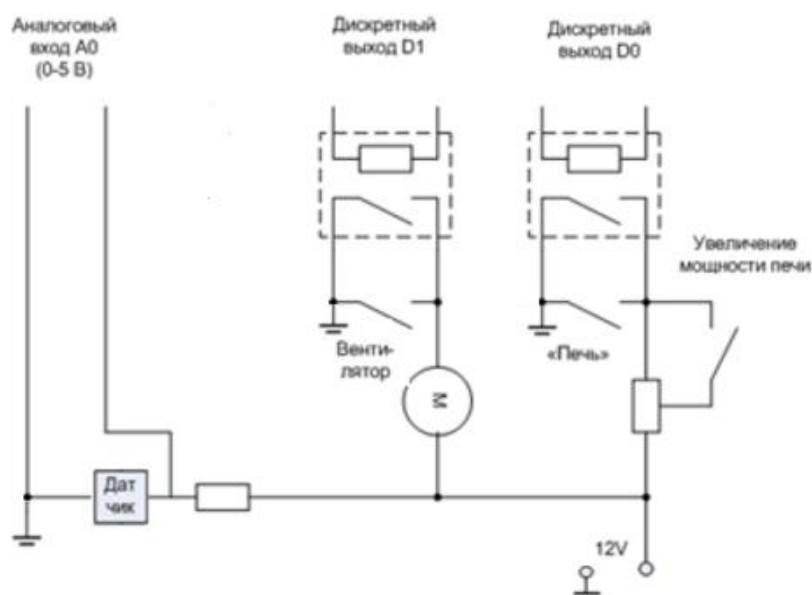


Рисунок 2 – Принципиальная схема ТО

Технические характеристики, перечисленных компонентов системы:

1. Микроконтроллер Arduino UNO:

- Тактовая частота: 16 МГц;
- Напряжение питания: 5В;
- Минимальное энергопотребление: 42мА при мощности 0,3 Вт;
- Цифровые линии ввода/вывода: 14;
- Аналоговые входы: 6.

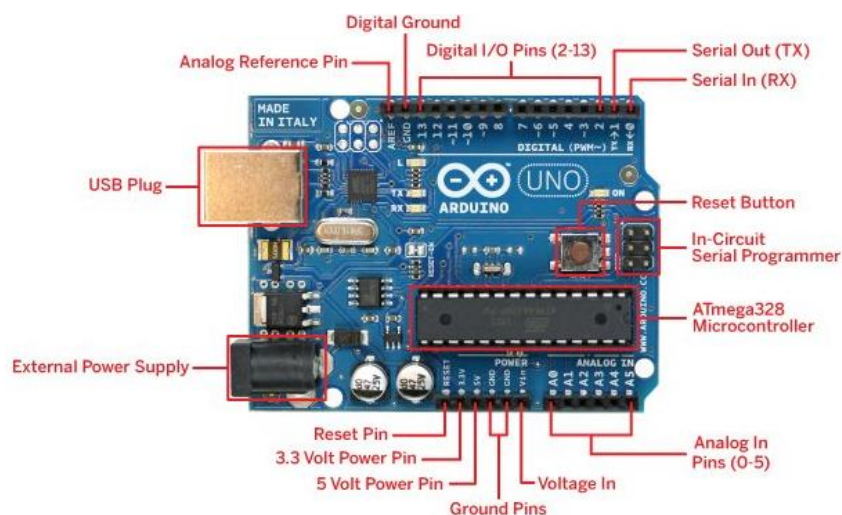


Рисунок 3 – Плата Arduino UNO

Условные обозначения:

Analog Referece Pin – опорное напряжение для аналоговых входов;

Digital Ground – заземление;

Digital I/O Pins (2-13) – дискретные входы и выходы;

Serial Out (TX) – выводы используются для передачи данных TTL;

Serial Int (RX) – выводы используются для получения данных TTL;

Reset Button – кнопка перезагрузки микроконтроллера;

In-Circuit Serial Programmer – разъем для прямого программирования микропроцессорного контроллера;

ATmega328 Microcontroller – аппаратное средство;

Analog In Pins (0-5) – аналоговые входы;

Voltage In – вход для подачи питания от внешних источников;

Ground Pins – выводы заземления;

5 Volt Power Pin – источник напряжения для питания микроконтроллера и компонентов на плате – 5В;

3,3 Volt Power Pin – напряжение на выводе 3,3 В;

Reset Pin – при низком уровне сигнала вывода перезагрузка микроконтроллер;

External Power Supply – подключение внешнего источника питания;

USB Plug – USB штекер.

2. Резистор ПЭВР-25(проволочный эмалированный влагостойкий регулируемый):

- Пределы номинальных сопротивлений: 10 Ом... 510 Ом;
- Номинальная мощность: 25Вт;
- Предельное напряжение: 1400 В;
- Допустимые отклонения сопротивления от номинальной:  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$ ;
- Диапазон температур:  $-60...+155^{\circ}\text{C}$ ;
- Минимальная наработка: 1500.

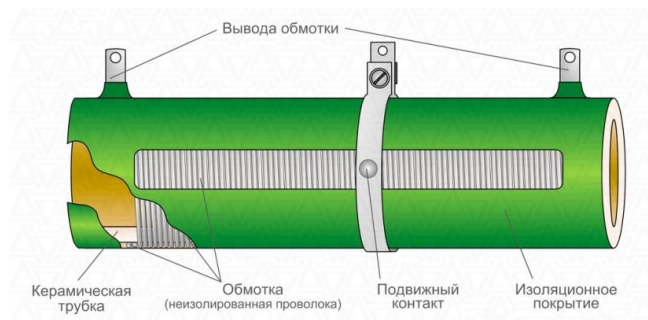


Рисунок 4 – Конструкция резистора ПЭВР-25

### 3. Датчик температуры ТI LM335:

- Диапазон рабочих температур:  $-40 \dots +100^{\circ}\text{C}$ ;
- Напряжение питания: 5В;
- Интерфейс: аналоговый вывод;
- Локальная точность:  $\pm 6^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 5 – Датчик температуры ТI LM335

### 4. Модуль с двумя электромеханическими реле:

- Светодиодная индикация состояния;
- Напряжение питания: 5В;
- Контроль электроники и оборудования с большими токами.

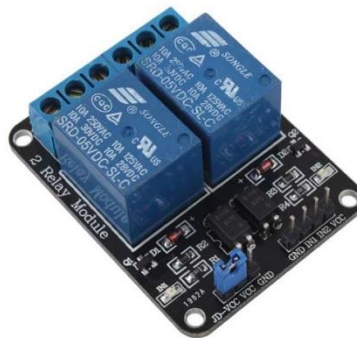


Рисунок 6 – Двухканальный релейный модуль

### 3 Поиск оптимального закона регулирования

#### 3.1 Определение передаточной функции системы

Для определения закона регулирования, необходимого в исследуемой системе, следует определить передаточную функцию (ПФ) объекта управления. Для получения переходной характеристики процесса проведен эксперимент, электрическая схема которого приведена на рисунке 7. В эксперименте на языке программирования C++ реализован нагрев резистора ПЭВР-25, с интервалов в 2 секунды с помощью аналогового датчика TI LM335 зафиксированы показания температуры в течение 70 секунд, которые поступают на монитор последовательного порта компьютера (рисунок 8), к которому подключена плата Arduino UNO, и могут быть отслежены в режиме реального времени. Программная реализация эксперимента представлена в Приложение А.

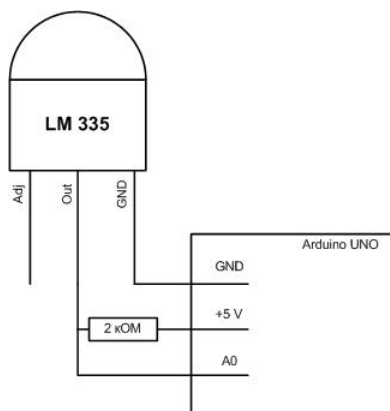


Рисунок 7 – Электрическая схема эксперимента

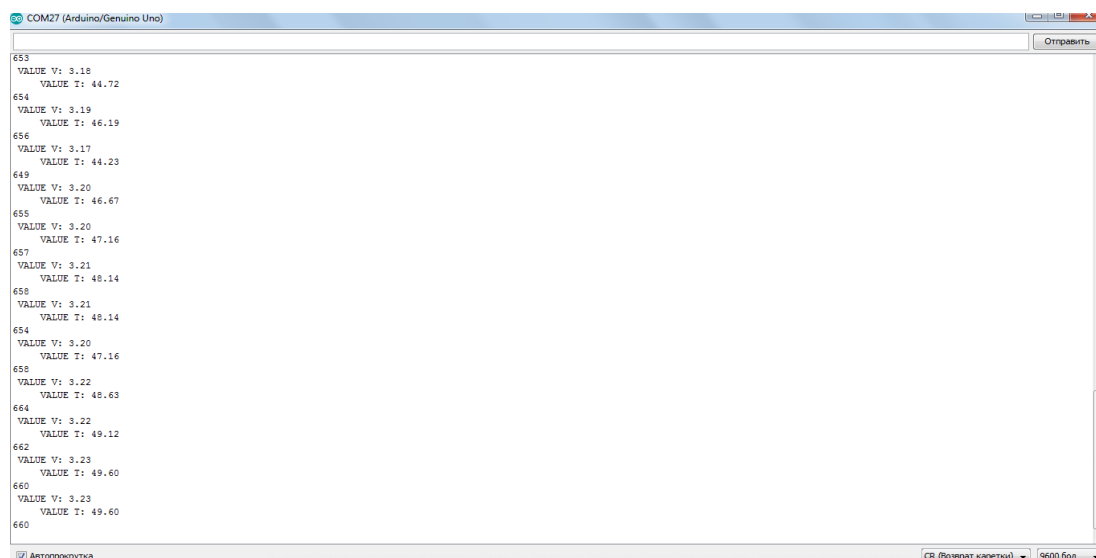


Рисунок 8 – Монитор последовательного порта платы Arduino UNO

На основе снятых показаний с датчика температуры в математическом пакете MathCAD построен график переходного процесса, изображенный на рисунке 9. На основе графика можно сделать вывод о том, что переходный процесс соответствует апериодическому звена первого порядка, но имеет помехи, поэтому с помощью встроенной функции аппроксимации данных был получен график идеального переходного процесса (рисунок 10), с помощью которого была определена передаточная функция объекта управления. При этом для того, чтобы переходная характеристика начиналась в нуле, зададим начальные условия эксперимента: комнатная температура равна  $38^{\circ}\text{C}$ .

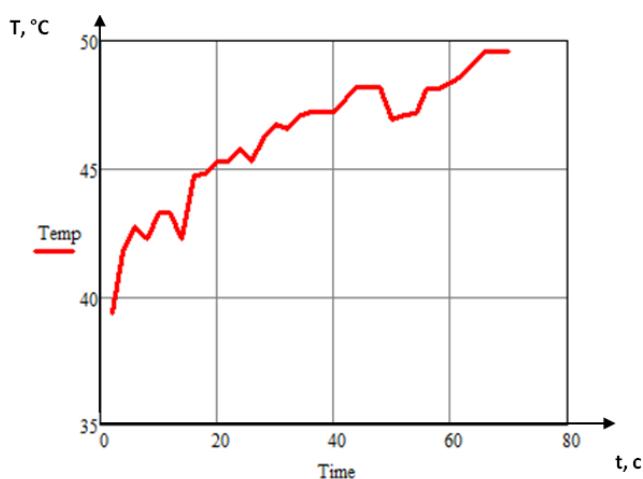


Рисунок 9 – График эксперимента

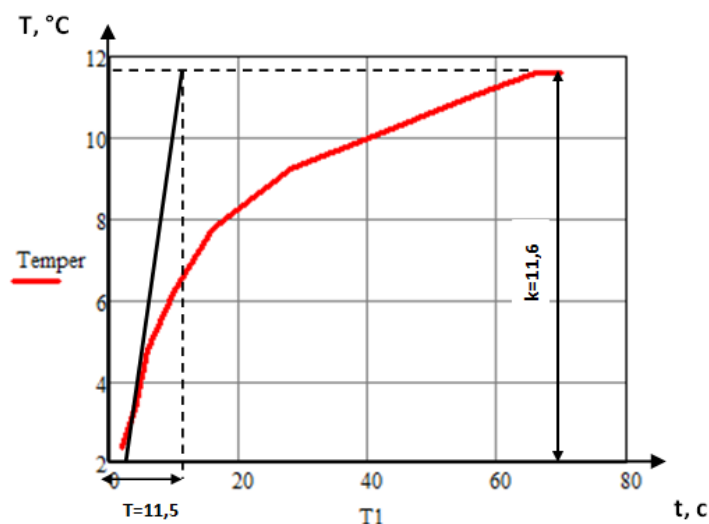


Рисунок 10 – График переходного процесса эксперимента

Установившееся значение температуры при постоянно включенной печи составляет  $120^{\circ}\text{C}$ , начало переходного процесса при котором температура достигает  $50^{\circ}\text{C}$  представлена на рисунке 10, поскольку не предоставляется возможности вывести параметры ОУ на граничный уровень в силу технических особенностей установки, то при идентификации модели ОУ необходимо учесть эти параметры и на их основе определить передаточную функцию системы.

Функция аperiodического звена первого порядка имеет следующий вид:  $W(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1}$ . По графику переходного процесса определяется на основе коэффициента усиления  $k$  и постоянной интегрирования  $T$ , характеризующей инерционность звена.

В программном пакете MATLAB построена переходная характеристика системы, на основе которой получена передаточная функция

системы  $W(s) = \frac{120}{150 \cdot s + 1}$  и проверена ее достоверность (рисунок 11).

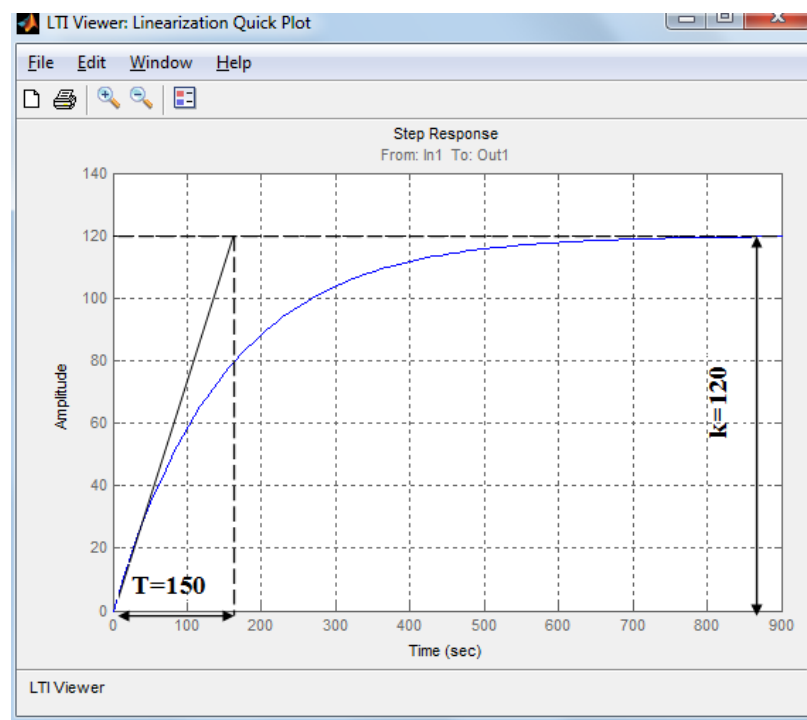


Рисунок 11 – График переходного процесса САР температуры в программном пакете MATLAB

### 3.2 Выбор закона регулирования

САР температуры дополнена функцией включения, отключения вентилятора и нагревательного элемента, а также реализована компенсация напряжения между всей системой и микропроцессором с помощью двухпозиционного регулирования. В исследуемой системе программно реализованы фильтрация входного сигнала и ПИ-регулирование для стабилизации измеренных значений. Усовершенствованная система представлена на рисунке 12.

В ходе изучения работы системы и на основе анализа характеристик законов регулирования был выбран закон ПИ-регулирования, так как он может обеспечить большую точность регулирования при больших, но плавных изменениях нагрузки. П-регулятор имеет на фоне ПИ-закона регулирования существенный недостаток – остаточное отклонение регулируемого параметра, которое влияет на качество системы в целом. И-

регулятор имеет большое время регулирования, что недопустимо для систем подобного рода.

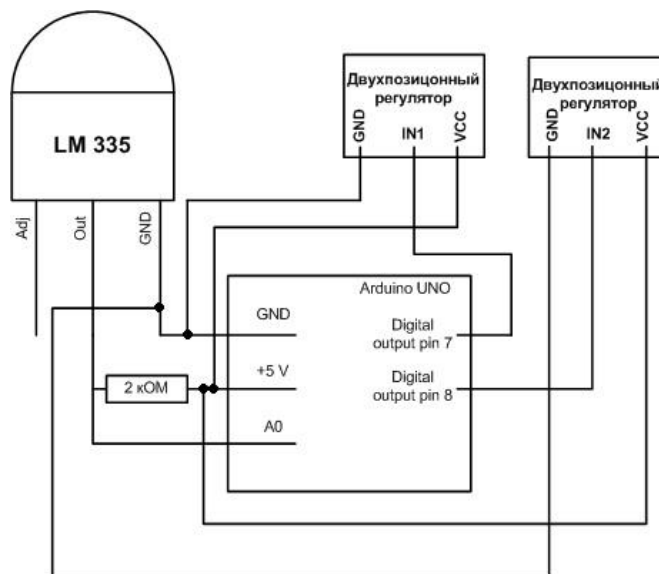


Рисунок 12 – Электрическая схема САР температуры

### 3.3 Поиск настройки ПИ-регулятора

Данная система имеет один чувствительный элемент и осуществляет обработку одного входного сигнала на регулятор, следовательно, она является одноконтурной системой регулирования. В таких системах применяются десятки методов параметров настройки регуляторов. Расчет коэффициента передачи регулятора  $k_p$ , постоянной интегрирования  $T_u$ , постоянной дифференцирования  $T_d$  является непосредственно настройкой регулятора.

#### 3.3.1 Метод Зиглера-Никольса

Для настройки ПИ-регулятора использовано несколько методов, одним из которых является метод Зиглера-Никольса, который основывается на поиске параметров отклика объекта на единичный скачок, которыми являются  $a$  и  $L$ , изображенные на рисунке 13[2]. На основе этих параметров рассчитываются коэффициенты различных законов регулирования, формулы для расчета которых приведены в таблице 1.

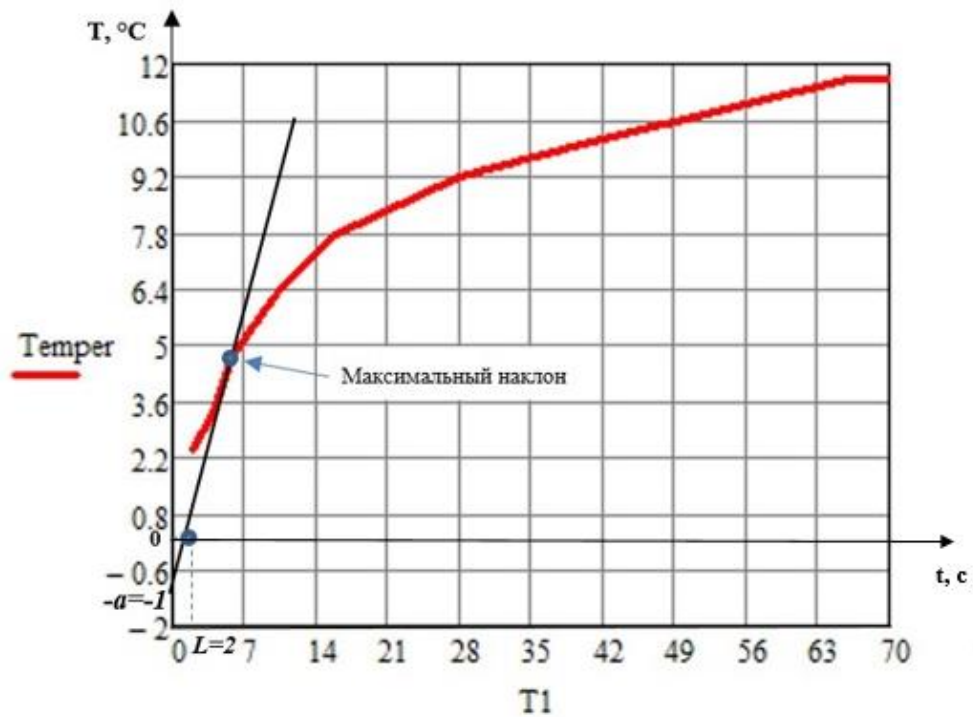


Рисунок 13 – Переходная характеристика объекта с параметрами отклика объекта на единичный скачок  $a$  и  $L$

Расчет настроек для ПИ-регулятора по методу Зиглера-Никольса:

$$k_p = 0,9 / a = 0,9 / 1 = 0,9$$

$$T_u = 3 \cdot L / k_p = 3 \cdot 2 / 0,9 = 6,66$$

Чтобы оценить качество системы для найденных параметров регулирования, в программном пакете MATLAB смоделирована структурная схема системы (рисунок 14), на основе которой получена переходная характеристика системы с ПИ-регулированием (рисунок 15), по которой определены основные показатели качества САР температуры.

Таблица 1 – Формулы для расчета коэффициентов регулятора методом Зиглера-Никольса по отклику на скачок

| Регулятор | $k_p$         | $T_u$             | $T_\delta$        |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------|
| П         | $\frac{1}{a}$ | -                 | -                 |
| ПИ        | $0,9/a$       | $3 \cdot L/k_p$   | -                 |
| ПИД       | $1,2/a$       | $0,9 \cdot L/k_p$ | $0,5 \cdot L/k_p$ |

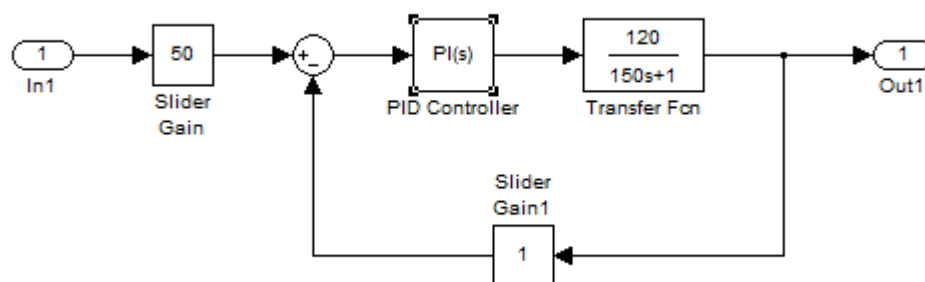


Рисунок 14 – Структурная схема САР температуры

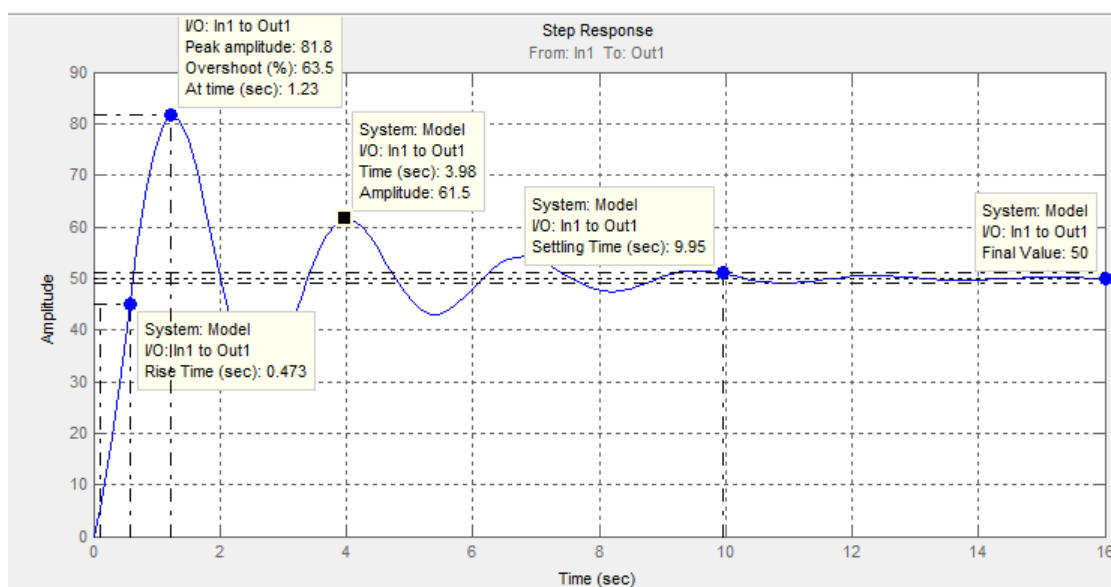


Рисунок 15 – Переходная характеристика системы с настройкой коэффициентов ПИ-регулятора методом Зиглера-Никольса

В ходе анализа переходной характеристики системы с настройкой параметров ПИ-регулятором методом Зиглера-Никольса получены следующие показатели качества системы на основе графика переходного процесса в пакете MATLAB (рисунок 15):

- установившиеся отклонение  $y_{уст} = 50$  при заданной уставке в 50;
- время регулирования  $t_n = 9,95с$ ;
- максимальное перерегулирование  $\sigma = 63,5\%$ ;
- число перерегулирований  $\delta = 3$ ;
- максимальное значение регулируемой величины  $y_{max} = 81,8$ .

Данный анализ позволяет сделать вывод о том, что настройки регулятора, полученные методом Зиглера-Никольса, влияют на характер переходного процесса следующим образом: колебания в системе имеют медленный затухающий характер, перерегулирование превышает допустимые нормы, что снижает точность системы в целом, но данные результаты оправданы тем, что сам метод основывается только на двух параметрах системы.

### 3.3.2 Метод CHR

Критерием качества второго исследуемого метода настройки регулятора CHR (Chien, Hrones, Reswick) является критерий максимальной скорости нарастания при отсутствии перерегулирования или при наличии не более чем 20-процентного перерегулирования, данный метод позволяет получить больший запас устойчивости, чем предыдущий. [2]

Метод CHR дает две разные системы параметров регулятора. Одна из них получена при наблюдении отклика на изменение уставки (Таблица 2), а вторая – при наблюдении отклика на внешние возмущения. [2] Выбор системы параметров зависит от приоритетов, которые ставит разработчик для определенного технологического процесса: качество регулирования при изменении уставки или ослабление внешних воздействий. [2]

Рассматриваемый метод использует те же параметры  $a$  и  $L$ , что и метод Зиглера-Никольса, но имеет меньшие коэффициенты пропорциональности в формулах. Поскольку качество регулирования при изменении уставки является более приоритетным фактором для исследуемой системы, то поиск коэффициентов настройки регулятора был ограничен первой системой параметров регулятора при условии 20-процентного перерегулирования.

Таблица 2 – Формулы для расчета коэффициентов регулятора методом CHR по отклику на изменение уставки

| Регулятор  | Без перерегулирования |                   |                   | С 20-процентным перерегулированием |                   |                    |
|------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|
|            | $k_p$                 | $T_u$             | $T_\partial$      | $k_p$                              | $T_u$             | $T_\partial$       |
| <b>П</b>   | $0,3/a$               | -                 | -                 | $0,7/a$                            | -                 | -                  |
| <b>ПИ</b>  | $0,35/a$              | $1,2 \cdot L/k_p$ | -                 | $0,6/a$                            | $1 \cdot L/k_p$   | -                  |
| <b>ПИД</b> | $0,6/a$               | $1 \cdot L/k_p$   | $0,5 \cdot L/k_p$ | $0,95/a$                           | $1,4 \cdot L/k_p$ | $0,47 \cdot L/k_p$ |

Расчет настроек для ПИ-регулятора по методу CHR:

$$k_p = 0,6/a = 0,6/1 = 0,6$$

$$T_u = 1 \cdot L/k_p = 1 \cdot 2/0,6 = 3,33$$

В ходе анализа переходной характеристики системы с настройкой параметров ПИ-регулятором методом CHR получены следующие показатели качества системы на основе графика переходного процесса в пакете MATLAB (рисунок 16):

- установившиеся отклонение  $y_{уст} = 50$  при заданной уставке в 50;

- время регулирования  $t_n = 15,7c$ ;
- максимальное перерегулирование  $\sigma = 65\%$ ;
- число перерегулирований  $\delta = 3$ ;
- максимальное значение регулируемой величины  $y_{\max} = 82,5$ .

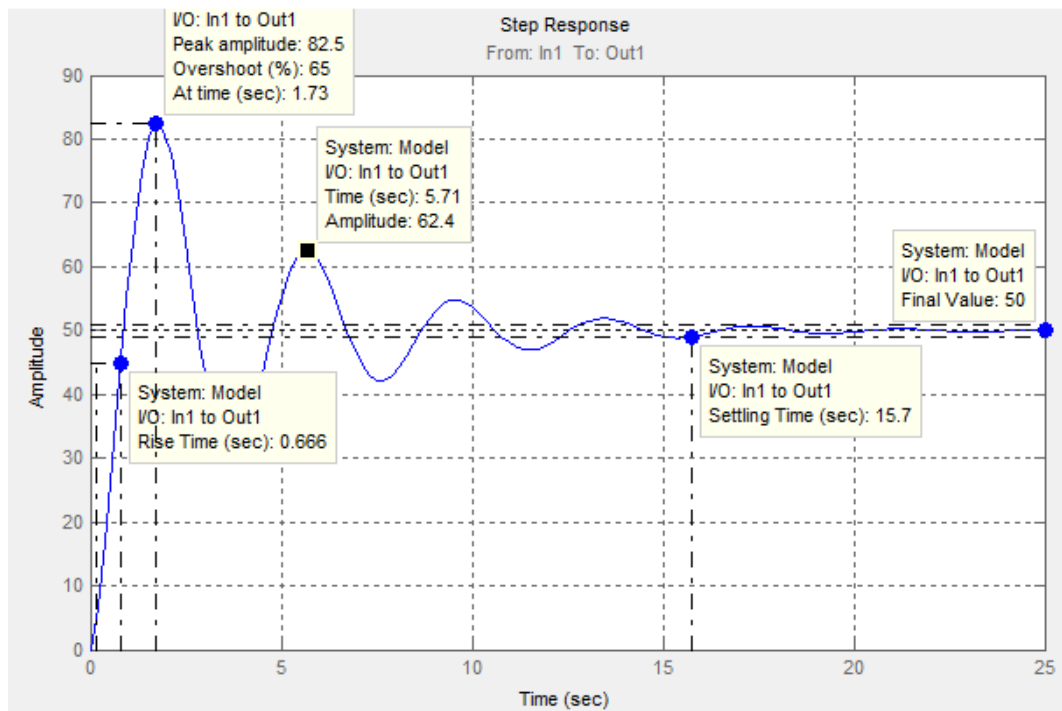


Рисунок 16 – Переходная характеристика системы с настройкой коэффициентов ПИ-регулятора методом CHR

Данный анализ позволяет сделать вывод о том, что настройки регулятора, полученные методом CHR, влияют на характер переходного процесса следующим образом: колебания в системе, как и в предыдущем методе, имеют медленный затухающий характер, перерегулирование также превышает допустимые нормы, время регулирования увеличилось, что снижает не только точность системы, но и ее качество.

### 3.3.3 Метод ручной подстройки

Следует отметить, что расчет коэффициентов настройки регулятора не дал ожидаемые результаты, поскольку качество регулируемой системы не удовлетворяет установленным требованиям. Так как рассмотренные методы основываются на упрощенных моделях объекта, сами модели используют параметры, идентифицированные с некоторой погрешностью, следовательно, после расчета найденных параметров необходимо осуществить их подстройку на основе правил, используемых при ручной настройке:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;
- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие. [2]

Применение данных правил, возможно, только при предварительной настройке регулятора по формулам, найденные коэффициенты справедливы только в пределах оптимальной настройки регулятора.

Следуя выше приведенным правилам, регулятор после подстройки имеет следующие параметры:  $k_p = 3,5$ ,  $T_u = 1,5$  и переходную характеристику, изображенную на рисунке 17.

Система обладает такими показателями качества:

- установившееся отклонение  $y_{уст} = 50$  при заданной уставке в 50;
- время регулирования  $t_n = 5,12с$ ;
- максимальное перерегулирование  $\sigma = 9,42\%$ ;
- колебательность в системе отсутствует;

- максимальное значение регулируемой величины  $y_{\max} = 54,7$ .

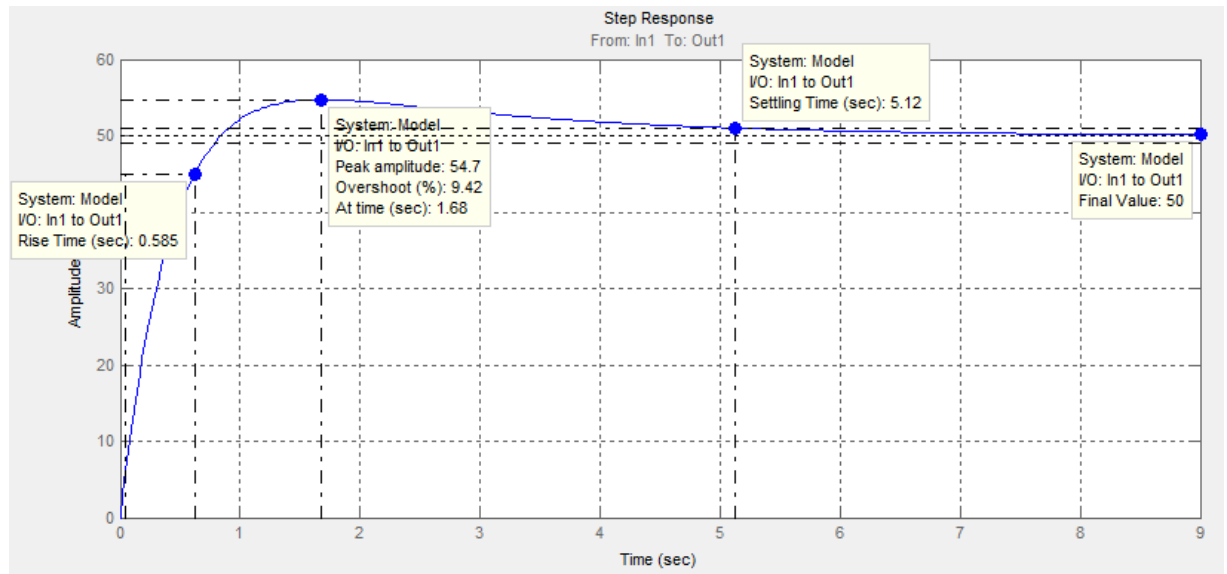


Рисунок 17 – Переходная характеристика системы после ручной подстройки  
ПИ-регулятора

## **4 Обеспечение корректной работы реле и фильтрация сигнала**

### **4.1 Широтно-импульсная модуляция**

С целью обеспечения корректной работы реле-печи и реле-вентилятора применена широтно-импульсная модуляция, которая обеспечивает кодировку аналогового входного сигнала за счет изменения его длительности (ширины) прямоугольных импульсов несущей частоты, позволяющий осуществлять переключение между минимальным и максимальным значениями. Широтно-импульсная модуляция формируется на основе двух сигналов - модулирующего, в данной работе который формируется на основе показаний, пришедших с датчика температуры, и вспомогательного, имеющий пилообразную форму сигнала. Амплитуда пилообразного сигнала выбрана таким образом, чтобы она соответствовала диапазону изменения управляющего сигнала ПИ-регулятора, который лежит в пределах от -255 до 255. Выбор частоты определен в ходе эксперимента на основе следующих принципов: период вспомогательного сигнала не может иметь малое значение, поскольку это повлияет на частоту переключения реле, что может привести к износу контактов и скорому выходу из строя; большое значение периода не позволит обеспечить корректное переключение реле в рамках технологического процесса. Сигнал моделирует напряжение, в данном случае максимальное напряжение составляет 5В, а минимальное 0В, что определяется техническими характеристиками микроконтроллера. В процессе модуляции изменяется ширина импульса, то есть длительность времени включения, отключения устройства, в данном эксперименте – реле, отвечающий за работу нагревательного элемента и вентилятора. На основе общей структурной схемы для систем с использованием модуляторов такого рода, изображенного на рисунке 18, в пакете MATLAB построена модель САР с применением широтно-импульсной модуляции и одновременно с ПИ-регулированием (рисунок 19). Программная реализация на микроконтроллере представлена в Приложение А.

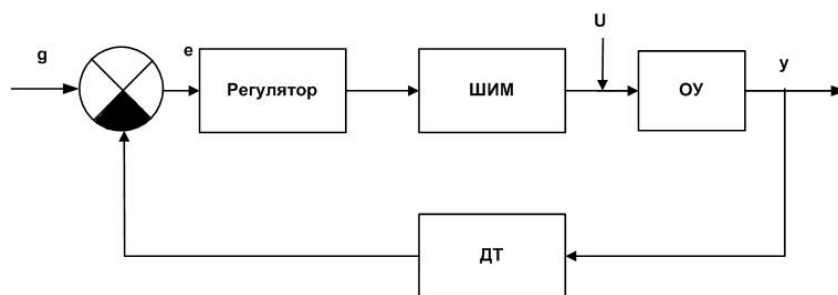


Рисунок 18 – Типовая структурная схема САР с применением широтно-импульсной модуляции и ПИ-регулированием

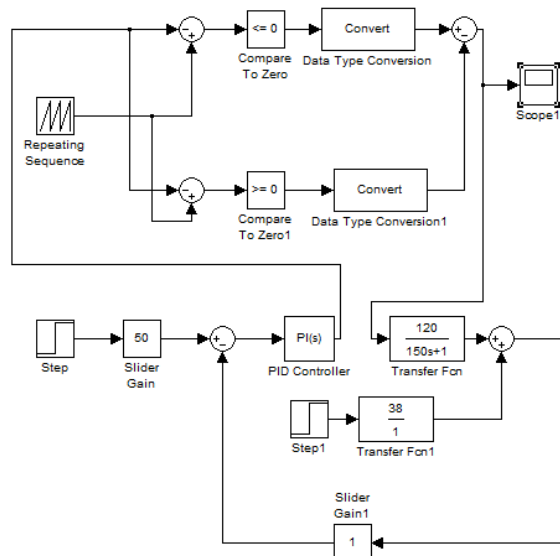


Рисунок 19 – Структурная схема САР с применением широтно-импульсной модуляции и ПИ-регулированием, составленной в пакете MATLAB

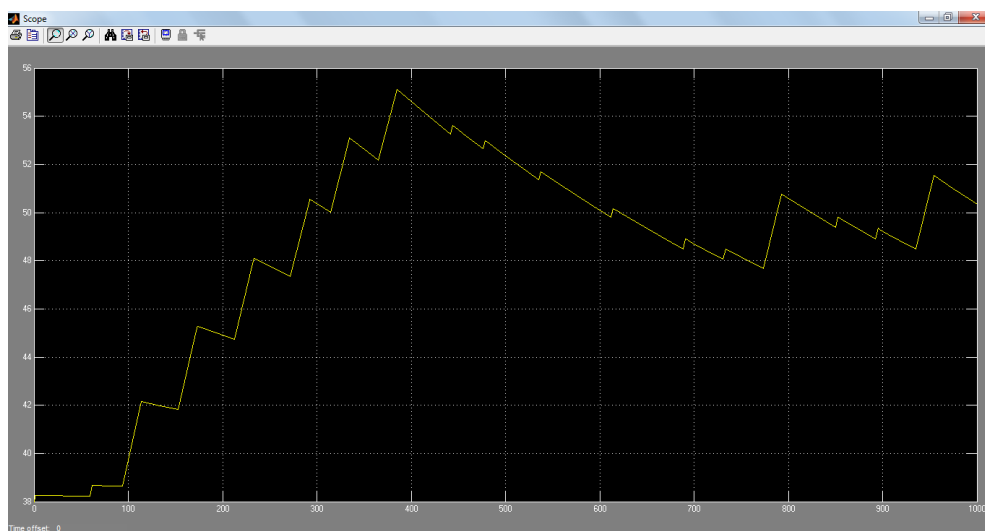


Рисунок 20 – Переходная характеристика процесса с применением широтно-импульсной модуляции и ПИ-регулированием

По характеру получившегося графика переходного процесса (рисунок 20) можно сделать вывод о том, что полученные настройки для регулятора, а также переключения реле, осуществляемые на основе ШИМ, и обеспечивают требуемый принцип работы исследуемой системы. При регулировании такого рода температура достигает максимального значения равного  $55^{\circ}\text{C}$  и колеблется в районе заданного значения, имея отклонение в  $(2-4)^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.2 Первичная обработка сигнала**

Поскольку полученные результаты характерны для идеализированной системы, а ее сигнал, снятый в ходе эксперимента (рисунок 9), имеет импульсные помехи, представляющие собой сравнительно короткий и мощный всплеск мешающего напряжения в канале, а время действия импульсной помехи оказывается достаточно малым[4], то существует необходимость в фильтрации входного сигнала.

Для первичной обработки измеренных значений применена фильтрация, обеспечивающая выделение полезного сигнала из полученной информации с помехой. Наиболее распространенными являются фильтры низких частот, к которым относится фильтр экспоненциального сглаживания, в основе которого лежит расчет экспоненциальных скользящих средних сглаживаемого ряда, членами которого являются измеренные значения. Основным достоинством такого рода сглаживания является способность адаптироваться к новому уровню процесса без значительного реагирования на случайные отклонения. [6] Процедура простого экспоненциального сглаживания осуществляется по следующим формулам:

$$S_t = \alpha \cdot X_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1},$$

где  $S_t$  - значение экспоненциального среднего в момент  $t$ ,  $X_{t-1}$  - физическое наблюдение в момент  $t-1$ ,  $\alpha$ -параметр сглаживания,  $\alpha = \text{const}$ ,  $\alpha \in (0;1]$ .

Чем меньше  $\alpha$ , тем в большей степени подавляются колебания исходного ряда, но при очень малых значениях  $\alpha$  может произойти искажение полезного сигнала.

В прикладном пакете MathCAD написана программа для экспоненциального сглаживания, с помощью которой экспериментально было определено значение  $\alpha=0,5$  (рисунок 21). Программная реализация фильтрации на микроконтроллере представлена в Приложении А.

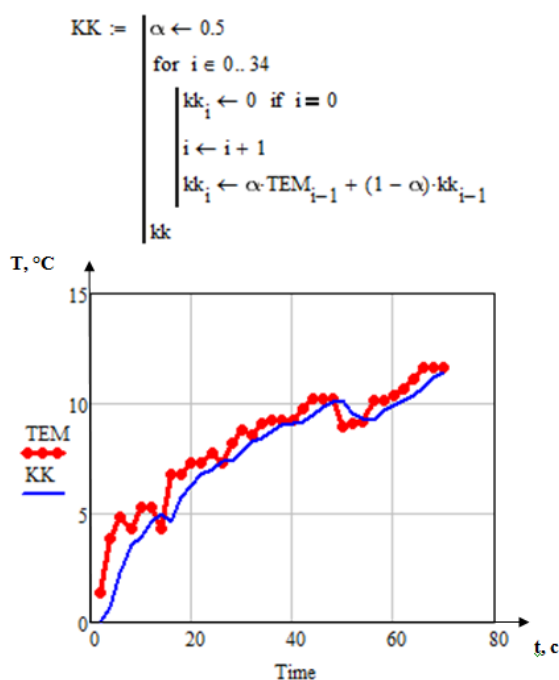


Рисунок 21 – Экспериментальное определение параметра сглаживания в пакете MathCAD

## 5 Визуализация технологического процесса

### 5.1 Основные структурные компоненты SCADA системы

С целью обеспечения высокого качества регулирования системы, а также визуализации переходного процесса рассматриваемой системы использована SCADA система, позволяющая осуществить процесс сбора информации в режиме реального времени с удаленных объектов для их управления и анализа полученных данных. [7]

Современные SCADA системы включают в свой состав три основных компонента, структура которых изображена на рисунке 22, и выполняют следующие функции:

- Удаленный терминал осуществляет обработку задачи в режиме реального времени.
- Диспетчерский пункт осуществляет обработку данных и управление высокого уровня в режиме реального времени; обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой.
- Коммуникационная система необходима для передачи данных с удаленных объектов, терминалов на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на диспетчерский пункт. [7]

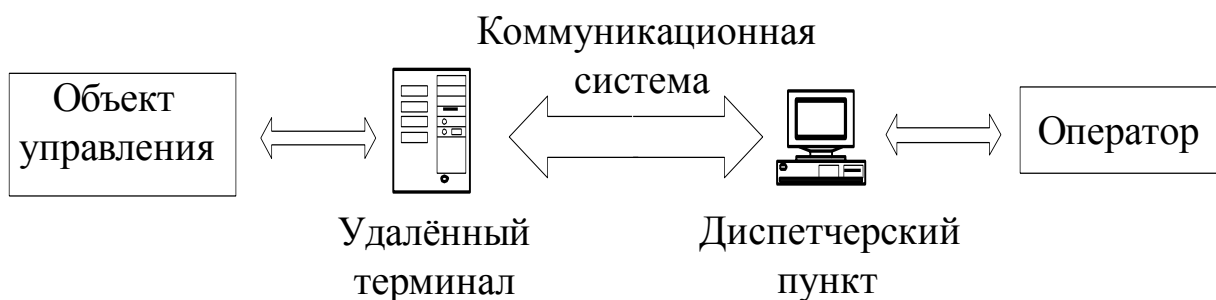


Рисунок 22 – Основные структурные компоненты SCADA системы

Удаленным терминалом в исследуемой системе является микроконтроллер Arduino UNO, осуществляющий обработку задачи по средствам написанной программы на языке программирования C++, коммуникационной системой, осуществляющий обмен данными между

удаленным терминалом и диспетчерским пунктом, является Modbus Universal MasterOPC сервер, использующий для работы наиболее распространенный протокол обмена в промышленности Modbus.[8] Компьютер, выполняющий функции диспетчерского пункта, оснащен пакетом программ MasterSCADA, который построен на клиент-серверной архитектуре с возможностью функционирования в локальных и глобальных сетях. Прием и передача в данном пакете происходит на основе стандартов OPC, таких как HTML, OLE, ODBC, COM/DCOM, ActiveX и другие. [7] Существенным достоинством выбранного SCADA-пакета является его обеспечение всех необходимых возможностей для стыковки с внешними программами и системами, а также предоставление пользователям его бесплатной лицензионной версии в размере 32-точек исполнения на официальном сайте inSAT, что является достаточным для работы с исследуемой системой.

## **5.2 Установление связи между микроконтроллером и SCADA системой**

Поскольку основной задачей использования SCADA пакета в данной работе является регулирование температуры в печи ПЭВР-25, то разрабатываемой приложение должно осуществлять настройку коэффициентов для ПИ-закона регулирования; коррекцию уставки температуры; отображение состояния отключения и включения реле-печи и реле-вентилятора; отображение входных значений температуры, выходного сигнала с ПИ-регулированием и ШИМ-модуляцией в виде трендов.

Для обеспечения поставленных задач и установления связи между платой Arduino и MasterSCADA в разрабатываемом коде и в MasterOPC сервере, представляющий собой коммуникационный стандарт, поддерживающий взаимодействие между полевыми устройствами, контроллерами и приложениями пакета Master, выделены следующие переменные, которые представлены в таблице 3. Установлена связь с портом, к которому подключен микроконтроллер, скорость опроса равная 115200,

поскольку регистрация показаний на плате происходит с такой же частотой, время ответа и период опроса, равные 500 мс, таким образом, завершена настройка OPC сервера.

С целью проверки работоспособности написанной программы (Приложение А), код загружен в микроконтроллер, конфигурация для исследуемой системы запущена, а в пакете MasterOPC можно наблюдать процесс обмена данными между датчиком температуры и OPC сервер через микропроцессорную плату на основе изменения принимаемых значений и качества передачи. (рисунок 23)

Таблица 3 – Перечень переменных, отвечающих за представление информации в пакете SCADA

| Название переменной | Регистр контроллера  | Тип            | Тип доступа | Назначение                               |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------|------------------------------------------|
| Temperature         | HOLDING_REGISTERS[4] | Real           | ReadOnly    | Хранение показаний с датчика температуры |
| Pila                | HOLDING_REGISTERS[3] | Double (float) | ReadOnly    | Формирование ШИМ-сигнала                 |
| $k_i$               | HOLDING_REGISTERS[1] | Double (float) | ReadOnly    | Коэффициент постоянного интегрирования   |
| Output              | HOLDING_REGISTERS[2] | Double (float) | ReadOnly    | Сигнал ПИ-регулирования                  |
| Setpoint            | HOLDING_REGISTERS[5] | Double (float) | WriteOnly   | Уставка температуры                      |
| $k_p$               | HOLDING_REGISTERS[6] | Double (float) | WriteOnly   | Коэффициента передачи регулятора         |
| Relay3State         | HOLDING_REGISTERS[7] | Bool (boolean) | ReadOnly    | Состояние реле-печи                      |

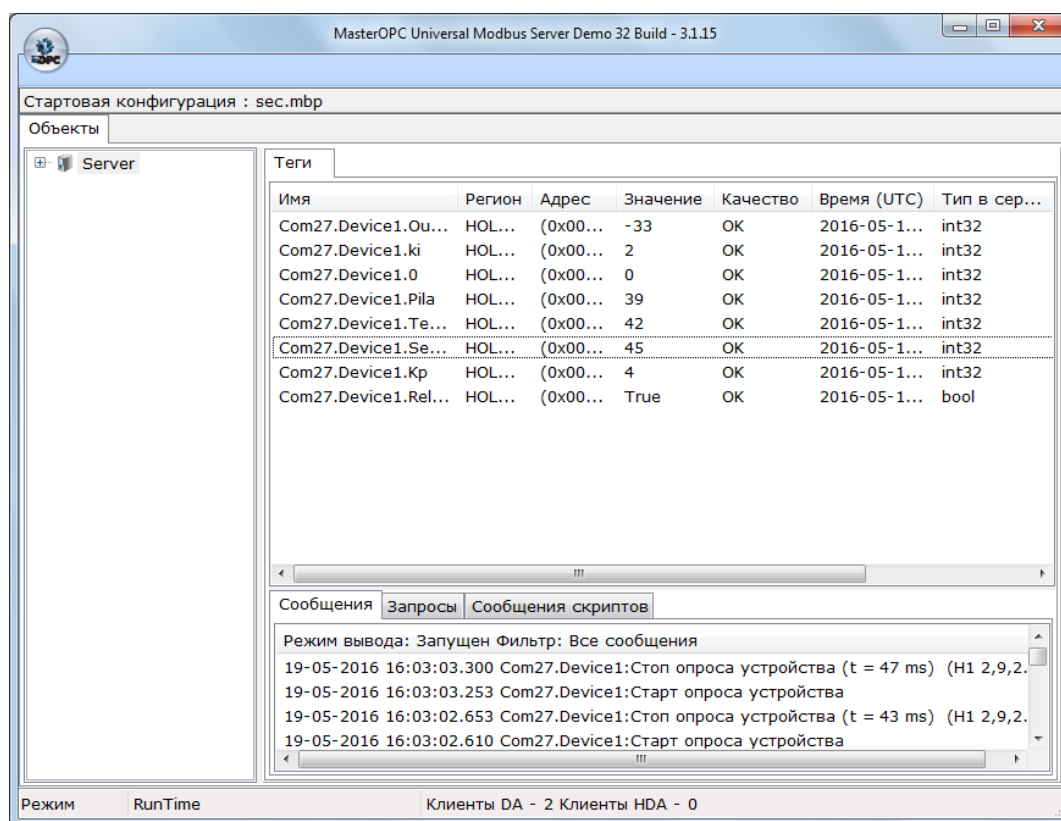


Рисунок 23 – Процесс обмена данными между микроконтроллером и OPC сервером по средствам программы MasterOPC

### 5.3 Отражение технологического процесса в режиме реального времени

Поскольку на производстве безопасность управления по средствам SCADA систем осуществляется за счет удаления оператора от пульта технологического процесса, разграничением прав доступа, шифрованием, секретностью протоколов связи, а также применением межсетевых протоколов, то неотъемлемой задачей для разработчика таких систем остается детальная визуализация технологического процесса, которая поможет оператору корректно управлять системой.

Основными средствами визуализации в SCADA пакетах являются тренды, графические индикаторы, задатчики и отображение значения каких-либо величин, а также кнопки, позволяющие перемещаться между объектами мнемосхем. С помощью тренда, который в режиме реального времени позволяет отследить изменение значений температуры, визуализирован

ШИМ-сигнал, процесс изменения переходного процесса в зависимости от изменения коэффициентов регулятора, уставки, которые задаются оператором, а также состояние работоспособности печи и вентилятора.

На основе конфигурационного файла, связывающего OPC сервер и микропроцессорную плату Arduino UNO, в пакете MasterSCADA вставлены переменные в разработанный проект, которые содержатся в таблице 3, и с помощью элементов палитры, описанных выше, разработан проект, выполняющие функции регулирования и визуализацию технологического процесса, представленный на рисунке 24.

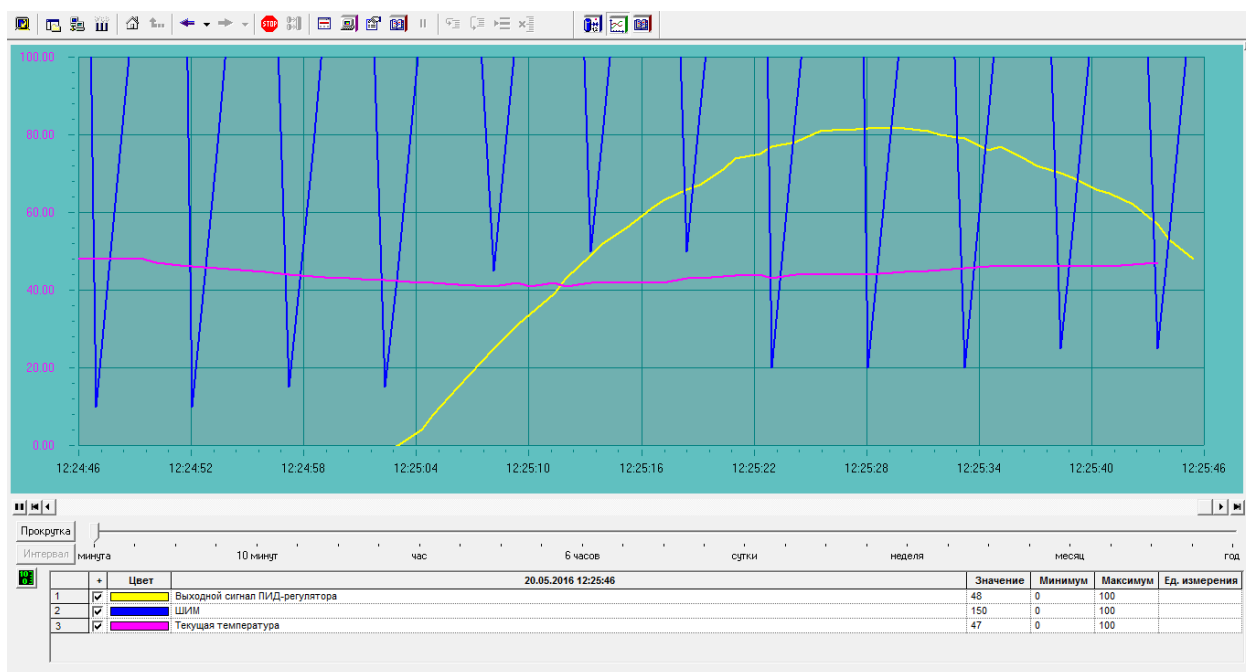


Рисунок 24 –Тренд сигнала ПИ-регулятора, ШИМ-сигнала и текущего значения температуры САР температуры в печи ПЭВР-25

## 5.4 Интерфейс SCADA системы САР температуры

С целью комфортного дистанционного управления системой создан дружелюбный интерфейс САР температуры. На мнемосхеме объекта управления (рисунок 25) содержатся три задатчика: уставки, коэффициента передачи регулятора, коэффициента постоянной интегрирования; отображается состояние включения реле-печи в виде индикатора состояния; представлено текущее значение температуры, выходного сигнала с ПИ-

регулятора, ШИМ-сигнала; кнопка, обеспечивающая переход к тренду, изображенному на Рисунке 24.

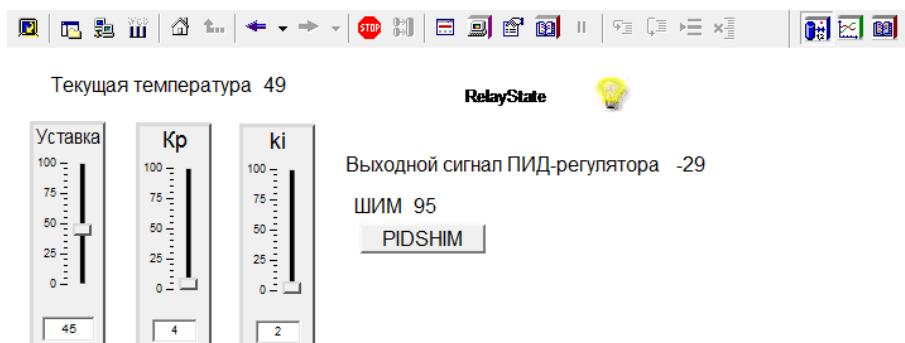


Рисунок 25 – Мнемосхема объекта управления САР температуры

Поскольку рассматриваемая система регулирования предназначена для внедрения на производстве, то для ее использования необходимо разработать элементы управления SCADA системой, такие как печать мнемосхемы, останов системы, смена оператора, вызов журнала событий с ограниченными правами доступа.

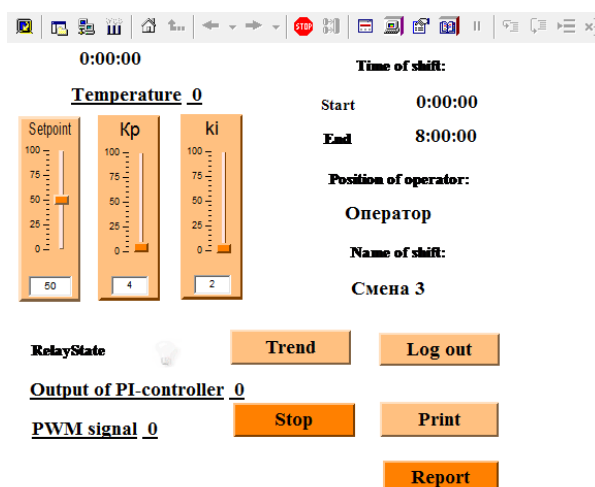


Рисунок 26 – Мнемосхема для управления САР температуры на производстве

На мнемосхеме, представленной на рисунке 26 добавлены кнопки смены оператора, останова системы, печати мнемосхемы, открытие журнала событий, доступ к которому имеет только диспетчер смены, чтобы отслеживать действия каждого оператора. Также на мнемосхеме отображены текущее время, время начала и конца смены, ее номер и должность оператора.

## **Заключение**

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана SCADA система для автоматического регулирования температуры в печи, которая включает функции дистанционного управления системой на базе микроконтроллера Arduino UNO на основе рассчитанных показателей ПИ-закона регулирования, а также представляет наглядную визуализацию технологического процесса оператору системы.

Исследуемая система может послужить недорогой, выполняющей основные функции прикладной моделью, которая позволит провести анализ основных характеристик технологического процесса и настройку требуемых параметров системы без значительных затрат и усилий.

## **Conclusion**

During execution of the qualification work was developed SCADA system for automatic control of the temperature in the furnace, which includes the function of remote control system, microcontroller Arduino UNO based on the calculated indicators PI - law regulation, and represents a clear process visualization system operators.

The investigated system can be a cheap, performs core functions of the applied model, which will allow to analyse the main characteristics of the technological process and setting the required parameters of the system without significant cost and effort.

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

На сегодняшней день перспективностью научных разработок является не только сам процесс открытия, но и оценка его коммерческой ценности, что становится необходимым условием для поиска источников финансирования с целью проведения научного исследования.

Коммерческая привлекательность исследуемого проекта должна включать в себя не только повышение качества усовершенствованных технологических разработок наряду с предыдущими, но и его востребованность на соответствующем рынке, ценовая категория, бюджет самого научного исследования, а также срок, в течение которого продукт выйдет на потребительский рынок.

Следовательно, целью текущего раздела становится проектирование, создание конкурентоспособных разработок, которые отвечают основным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности. В данном разделе осуществлена оценка разработки SCADA системы регулирования процессов в печах на основе Arduino.

### **6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой аудиторией рынка, на которую направлена основная часть продаж текущей разработки, является отрасли моделирования технологических процессов, автоматизации и мехатроники, для которых данное исследование имеет практический интерес, поскольку позволяет снизить риски выхода из строя основного оборудования, сбоя технологического процесса и обеспечивает его удешевление. Сегментирование рынка произведено по следующим критериям:

потребительские отрасли, стоимость в зависимости от модели микроконтроллера, на основе которого осуществляется разработка исследуемой системы, представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Карта сегментирования по разработке SCADA системы регулирования процессов в печах

| Параметры               |               | Модель микроконтроллера |              |             |
|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------|-------------|
|                         |               | Arduino UNO             | Raspberry PI | Beagle Bone |
| Потребительские отрасли | Моделирование |                         |              |             |
|                         | Автоматизация |                         |              |             |
|                         | Мехатроника   |                         |              |             |
| Стоимость               | Высокая       |                         |              |             |
|                         | Средняя       |                         |              |             |
|                         | Низкая        |                         |              |             |

На основе карты сегментирования можно сделать вывод о том, что самым перспективным сегментом является недорогой микроконтроллер Arduino UNO, применяемый в области моделирования и автоматизации.

### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

На основе оценочной карты, приведенной в таблице 5, проанализированы основные технические решения с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 5 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерий оценки                                         | Вес критерия | Баллы                   |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|---------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|                                                         |              | Б <sub>ф</sub>          | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| 1                                                       | 2            | 3                       | 4               | 5               | 6                     | 7               | 8               |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |                         |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Повышение производительности труда пользователя      | 0,1          | 5                       | 5               | 5               | 0,5                   | 0,5             | 0,5             |
| 2. Удобство эксплуатации                                | 0,1          | 5                       | 5               | 5               | 0,5                   | 0,5             | 0,5             |
| 3. Надежность                                           | 0,1          | 5                       | 5               | 4               | 0,25                  | 0,25            | 0,25            |
| 4. Возможность подключения в сеть ЭВМ                   | 0,15         | 5                       | 5               | 5               | 0,75                  | 0,75            | 0,75            |
| 5. Предоставляемые возможности                          | 0,1          | 5                       | 5               | 5               | 0,5                   | 0,5             | 0,5             |
| 6. Качество интеллектуального интерфейса                | 0,15         | 5                       | 5               | 5               | 0,75                  | 0,75            | 0,75            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |                         |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Конкурентоспособность продукта                       | 0,15         | 5                       | 3               | 4               | 0,75                  | 0,45            | 0,6             |
| 2. Цена                                                 | 0,1          | 4                       | 4               | 3               | 0,4                   | 0,4             | 0,3             |
| 3. Предполаг. срок эксплуатации                         | 0,025        | 5                       | 4               | 4               | 0,125                 | 0,1             | 0,1             |
| 4. Уровень проникновения на рынок                       | 0,025        | 5                       | 4               | 4               | 0,125                 | 0,1             | 0,1             |
| <b>Итого</b>                                            | <b>1</b>     | <b>Суммарная оценка</b> |                 |                 | <b>4,65</b>           | <b>4,3</b>      | <b>4,35</b>     |

Основными преимуществами перед конкурирующими моделями микроконтроллерами является его адаптация для нескольких предметных областей, удобство эксплуатации и его надежность, таким образом

коэффициент конкурентоспособности микроконтроллера Arduino UNO равен:

$$k_{kc} = \frac{K_{\phi}}{K_{k1}} = \frac{\frac{4,65}{4,3} + \frac{4,65}{4,35}}{2} = \frac{1,081 + 1,069}{2} = 1,075. \text{ Поскольку } k_{kc} > 1, \text{ то данная}$$

микропроцессорная плата является конкурентоспособной.

### 6.1.3 SWOT-анализ

Представляет собой комплексный анализ исследуемого проекта, включающий в себя сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, который применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица SWOT-анализа для исследуемой системы представлена в таблице 6.

Таблица 6 – SWOT-анализ

|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                         | <b>Сильные стороны:</b><br>С1. Низкая стоимость;<br>С2. Экологичность технологии;<br>С3. Ординарность изготовления;<br>С4. Возможность использования инфраструктуры университета;<br>С5. Наличие оборудования, позволяющего проведение экспериментов. | <b>Слабые стороны:</b><br>Сл1. Низкий уровень прибыльности;<br>Сл2. Низкие маркетинговые навыки сотрудников. |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Появление дополнительного спроса на усовершенствованный продукт;<br>В2. Внедрение в новые сегменты рынка;<br>В3. Хорошие связи с потребителями.              | Усовершенствованная разработка за счет дополнения ее другими функциональными возможностями может повлиять на спрос, следовательно, получить востребованность в данной разработке на других сегментах рынка. (В1С1, В1В2С1С2, В3С1)                    | Установление связей с потребителями для продвижения создаваемого продукта. (В3Сл2)                           |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Появление продуктов заменителей;<br>У2. Появление более современных и дешевых технологий производства;<br>У3. Отсутствие спроса на новые технологии производства. | Значительной угрозой может стать аналог, имеющий сравнительно меньшую стоимость и разработанный по средствам современных технологий. (У1С1, У2С3)                                                                                                     | Текущая разработка может быть не востребована покупателем в силу различных причин. (У1У2У3Сл2)               |

С целью обнаружения сильных и слабых сторон исследуемого проекта внешними условиями построены интерактивные матрицы, приведенные в таблицах 7-10.

Таблица 7 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта.

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                         |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| Возможности проекта     | B1 | +  | +  | +  | -  | -  |
|                         | B2 | +  | +  | +  | -  | -  |
|                         | B3 | +  | -  | -  | -  | -  |

Таблица 8 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей

| Слабые стороны проекта |    |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|
|                        |    | Сл1 | Сл2 |
| Возможности проекта    | B1 | -   | +   |
|                        | B2 | -   | +   |
|                        | B3 | +   | +   |

Таблица 9 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                         |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| Угрозы проекта          | У1 | -  | -  | -  | -  | -  |
|                         | У2 | -  | -  | +  | +  | +  |
|                         | У3 | +  | +  | +  | -  | -  |

Таблица 10 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|
|                        |    | Сл1 | Сл2 |
| Угрозы проекта         | У1 | -   | +   |
|                        | У2 | +   | +   |
|                        | У3 | -   | +   |

## **6.2 Определение возможных альтернатив проведения исследований**

Чтобы определить возможные альтернативные варианты для данного исследования, на основе составленной морфологической матрицы (таблица 11) определены морфологические характеристики объекта.

Таблица 11 – Морфологическая матрица

|                               | <b>1</b>          | <b>2</b>     |
|-------------------------------|-------------------|--------------|
| Платформа                     | Arduino UNO       | Raspberry PI |
| А.Микроконтроллер             | ATmega328         | ARM11        |
| Б.Порт Ethernet               | -                 | 10/100       |
| В.ОЗУ                         | 2 Кбайт           | 256 Мбайт    |
| Г.Flash – память              | 32 Кбайт          | SD карта     |
| Д.Напряжение питания, В       | 5                 | 5            |
| Е.Цифровые линии ввода/вывода | 14                | 8            |
| Ж.Аналоговые входы            | 6 (10-битный АЦП) | -            |
| З.Каналы ШИМ                  | 6                 | -            |
| И.Язык программирования       | C++               | Python       |

Возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции функционального содержания и ресурсосбережения:

1. A1B1B1Г1Д1Е1Ж1З1И1 – Arduino UNO; ATmega328; Порт Ethernet отсутствует; 2 Кбайт; 32 Кбайт; напряжение 5 В; цифровые линии ввода 14; аналоговые входы 6; каналы ШИМ 6; C++.

2. A2B2B2Г2Д2Е2Ж2З2И2 - Raspberry PI; ARM11; порт Ethernet 10/100; 256 Мбайт; SD карта; напряжение 5 В; цифровые линии ввода 8; аналоговые входы отсутствуют; каналы ШИМ отсутствуют; Python.

## **6.3 Планирование научно-исследовательских работ**

### **6.3.1 Структура в рамках научного исследования**

В текущем разделе составлен перечень этапов и работ, которые необходимо реализовать в рамках исследования, распределены исполнители по видам работ. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                           | №<br>раб | Содержание работ                                  | Должность<br>исполнителя      |
|----------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных      | 1        | Составление и утверждение технического задания    | Научный руководитель          |
| Выбор направления исследований                           | 2        | Подбор и изучение материалов по теме              | Научный руководитель, инженер |
|                                                          | 3        | Проведение патентных исследований                 | Научный руководитель, инженер |
|                                                          | 4        | Разработка календарного плана                     | Научный руководитель, инженер |
| Экспериментальные исследования                           | 5        | Проверка функциональных возможностей оборудования | Научный руководитель, инженер |
| Проектирование структуры ПО                              | 6        | Проектирование структуры ПО                       | Научный руководитель, инженер |
|                                                          | 7        | Разработка ПО                                     | Научный руководитель, инженер |
|                                                          | 8        | Тестирование ПО                                   | Инженер                       |
| <i>Проведение ОКР</i>                                    |          |                                                   |                               |
| Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР) | 9        | Оформление расчетно-пояснительной записки         | Инженер                       |
|                                                          | 10       | Подведение итогов                                 | Научный руководитель, инженер |

### 6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В большинстве случаев трудовые затраты являются основной частью стоимости разработки, следовательно, определение трудоемкости работ каждого участника исследования становится неотъемлемой частью. С целью определения трудоемкости использованы следующие показатели качества:

- Ожидаемое значение продолжительности работ, которое определяется по формуле:  $t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}$ , где  $t_{\min}$  - минимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел/дн;  $t_{\max}$  - максимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел/дн.

- Продолжительность каждой работы в днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:  $T_p = \frac{t_{ож_i}}{U_i}$ ,

где  $T_{p_i}$  - продолжительность одной работы, раб.дн.;  $t_{ож_i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $U_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

- Длительность каждого этапов работ в календарные дни, которая используется для построения диаграммы Ганта:  $T_{k_i} = T_{p_i} \cdot k_{кал}$ , где  $T_{k_i}$  - продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;  $T_{p_i}$  - продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в рабочих днях;  $k_{кал}$  - коэффициент календарности.

- Коэффициент календарности:  $k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$ , где  $T_{кал}$  - количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  - количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  - количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности составляет:  $k_{кал} = \frac{365}{365 - 119} = 1,48$ .

Расчет трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 13, на ее основе построен календарный план-график, который учитывает максимальные по времени исполнения этапы с учетом разбиения времени на месяца и декады в течение периода выполнения дипломной работы. Таблица 14 имеет обозначения:  - руководитель;  - инженер.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

| Этап                                               | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |          | Длительность работ, чел/дн. |       |       |        |
|----------------------------------------------------|-------------|------------------------------|-----------|----------|-----------------------------|-------|-------|--------|
|                                                    |             |                              |           |          | $T_{Pi}$                    |       | $T_K$ |        |
|                                                    |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$ | НР                          | И     | НР    | И      |
| Постановка целей и задач                           | НР          | 3                            | 5         | 3,8      | 4,56                        | –     | 6,75  | –      |
| Разработка и утверждение технического задания (ТЗ) | НР, И       | 2                            | 4         | 2,8      | 0,34                        | 3,36  | 0,5   | 4,97   |
| Подбор и изучение материалов по теме               | НР, И       | 10                           | 13        | 11,2     | 4,03                        | 8,44  | 5,96  | 12,5   |
| Разработка календарного плана                      | НР, И       | 2                            | 4         | 2,8      | 0,67                        | 3,36  | 0,99  | 4,97   |
| Экспериментальные исследования                     | НР, И       | 15                           | 20        | 17       | 20,4                        | 14,28 | 30,19 | 21,13  |
| Проектирование структуры ПО                        | НР, И       | 10                           | 15        | 12       | 6,5                         | 11,2  | 2,73  | 16,58  |
| Разработка ПО                                      | НР, И       | 12                           | 15        | 13,2     | 7,92                        | 15,84 | 11,72 | 23,44  |
| Тестирование ПО                                    | И           | 6                            | 10        | 7,6      | -                           | 9,12  | -     | 13,5   |
| Оформление расчетно-пояснительной записки          | И           | 6                            | 9         | 7,2      | -                           | 8,64  | -     | 12,79  |
| Подведение итогов                                  | НР, И       | 2                            | 3         | 2,4      | 1,72                        | 2,88  | 2,55  | 4,26   |
| <b>Итого:</b>                                      |             |                              |           | 80       | 46,12                       | 77,12 | 61,39 | 114,14 |

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| №<br>рабо<br>т | Вид работ                                             | Исполнител<br>и | $T_{ki}$<br>,<br>кал.<br>дн. | февр. |   | март |   |   | апрель |   |   | май |   |   | июнь |
|----------------|-------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|-------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|
|                |                                                       |                 |                              | 2     | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    |
|                |                                                       |                 |                              |       |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 1              | Постановка задачи                                     | НР              | 7                            | ■     |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 2              | Разработка и утверждение<br>технического задания (ТЗ) | НР, И           | 5                            | ▨     |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 3              | Подбор и изучение материалов<br>по теме               | НР, И           | 12                           |       | ▨ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 4              | Разработка календарного плана                         | НР, И           | 5                            |       |   | ▨    |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 5              | Экспериментальные<br>исследования                     | НР, И           | 30                           |       |   |      | ■ | ■ | ■      | ■ |   |     |   |   |      |
| 6              | Проектирование структуры ПО                           | НР, И           | 16                           |       |   |      |   |   |        | ▨ | ▨ |     |   |   |      |
| 7              | Разработка ПО                                         | НР, И           | 24                           |       |   |      |   |   |        | ▨ | ▨ | ▨   |   |   |      |
| 8              | Тестирование ПО                                       | И               | 14                           |       |   |      |   |   |        |   |   | ▨   | ▨ |   |      |
| 9              | Оформление расчетно-<br>пояснительной записки         | И               | 13                           |       |   |      |   |   |        |   |   |     |   | ▨ |      |

### 6.3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В бюджете НТИ должно быть обеспечено достоверное отображение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением исследования. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

#### 6.3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

С целью вычисления материальных затрат использована формула для расчета:  $Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi}$ , где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Рассчитанные материальные затраты представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

| Наименование материалов        | Цена за ед., руб. | Количество | Сумма, руб. |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Блокнот                        | 40                | 2 шт.      | 80          |
| Бумага для принтера формата А4 | 150               | 2 уп.      | 300         |
| Ручка шариковая                | 10                | 4 шт.      | 40          |
| Карандаш                       | 10                | 2 шт.      | 20          |
| Стирательная резинка           | 5                 | 2 шт.      | 10          |
| Arduino UNO                    | 1300              | 1 шт.      | 1300        |
| <b>Итого:</b>                  |                   |            | <b>1750</b> |

Расходы на материалы составили 1750 рублей.

### 6.3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении проекта, которая рассчитывается по формуле:  $Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$ , где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата;  $Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата, которая составляет 12-20% от  $Z_{осн}$ .

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  - месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года;  $F_d$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 16. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дня.

Месячный должностной оклад работника:

$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p$ , где  $Z_{mc}$  - заработная плата по тарифной ставке,  $k_{np} = 0,3$  - премиальный коэффициент;  $k_o \approx 0,2 - 0,5$  - коэффициент доплат и надбавок;  $k_p = 1,3$  - районный коэффициент для г.Томска.

Таблица 16 – Затраты на основную заработную плату

| Исполнитель | $Z_{mc}$ ,<br>руб. | $Z_m$ ,<br>руб. | $Z_{он}$ ,<br>руб. | $T_p$ ,<br>раб.дн. | $Z_{осн}$ , руб. |
|-------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|
| НР          | 1530,5             | 1989,7          | 95,5               | 46                 | 4650             |
| И           | 1000               | 1300            | 69                 | 77                 | 6235             |
| Итого:      |                    |                 |                    |                    | 10885            |

Затраты на основную заработную плату составили 10885руб.

### 6.3.3.3 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется на основе формулы:  $Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$ , где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), размер которого установлен в 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

На основе полученных расчетов, представленных в таблице 17:

$$Z_{внеб} = 27,1 \times 10885 = 294983,5$$

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель       | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| НР                | 4650                            | —                                     |
| И                 | 6235                            | —                                     |
| $k_{\text{внеб}}$ | 27,1%                           |                                       |
| <b>Итого:</b>     | <b>294983,5</b>                 |                                       |

#### 6.3.3.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчёт бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи                                       | Сумма, руб. |
|-----------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Материальные затраты НТИ                               | 1750        |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 10885       |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды                       | 294983,5    |
| 4. Бюджет затрат НТИ                                      | 307618,5    |

## **7 Социальная ответственность**

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы является разработка SCADA системы автоматического регулирования процессов в печах на основе Arduino. Основной задачей исследования стояло усовершенствование лабораторного стенда, состоящего из нагревательного элемента, датчика температуры, электромагнитных реле и вентилятора, с помощью недорогой, но выполняющей основные функции микропроцессорной платой Arduino UNO и персонального компьютера. А также разработка программного кода для регулирования установленной температуры оператором системы по средствам адаптирования SCADA приложения к исследуемому технологическому процессу.

### **7.1 Производственная безопасность**

Исследование системы регулирования процессов в печи проходило в помещении, которое располагается на первом этаже в корпусе №10 НИ ТПУ. Помещение имеет источники естественного освещения - два окна, а также оборудовано дополнительными источниками – лампами накаливания. В аудитории отсутствует искусственная вентиляция, циркуляция воздуха происходит за счет окон и дверей. Основная часть исследований происходит за персональным компьютером рядом с объектом управления – системой регулирования температуры в печи. В связи с этим на рабочем месте существует возможность появления таких вредных и опасных факторов как: повышенная или пониженная температура рабочей зоны, повышение уровня шума, повышение уровня электромагнитных излучений и другие, которые приведены в таблице 19.

Таблица 19. Опасные и вредные факторы при разработке SCADA системы автоматического регулирования в печах на основе Arduino

| Источник фактора, наименование видов работ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Факторы (ГОСТ 12.003-74)                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                | Нормативные документы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Вредные                                                                                                                                                                                                                                                                         | Опасные                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>1. Работа с персональным компьютером:</p> <p>1) Управление тепловым объектом по средствам программирования микроконтроллера;</p> <p>2) Наблюдение за ходом технологического процесса;</p> <p>2. Работа с тепловым объектом:</p> <p>1) Подключение элементов теплового объекта к персональному компьютеру в соответствии с электрической схемой подключения через микроконтроллер;</p> <p>2) Регистрация основных показателей системы за счет датчиков и реле.</p> | <p>1. Повышенная или пониженная температура рабочей зоны;</p> <p>2. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</p> <p>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>4. Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>5. Перенапряжение зрительного анализатора.</p> | <p>1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи.</p> | <p>Параметры температуры рабочей зоны устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96. [13]</p> <p>Параметры уровня шума устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562-96.[14]</p> <p>Параметры естественного и искусственного освещения определяются СНиП 23-05-95.[15]</p> <p>Параметры уровня электромагнитного излучения устанавливаются ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. [17]</p> <p>Эргономические требования к рабочему месту устанавливаются ГОСТ Р 50948-2001. [18]</p> <p>Параметры напряжения в сети устанавливаются ГОСТ 29322-92. [16]</p> |

## **7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования**

### **7.1.1.1 Повышенная и пониженная температура рабочей зоны**

Источником повышения или понижения температуры на рабочем месте является тепловой объект, который в зависимости от управляющего сигнала – уставки может включать нагревательный элемент, тем самым повышать температуру воздуха на рабочем месте, либо включать вентилятор, охлаждающий тот же нагревательный элемент и температуру воздуха. Поскольку данный фактор оказывает существенное влияние на показания микроклимата, следовательно, и на организм человека, то для безопасной работы пользователя разрабатываемой системы необходимо соблюдать следующие показатели качества микроклимата на рабочих местах, приведенные в таблице 20. [13]

Таблица 20 – Показатели микроклимата на рабочем месте СанПиН 2.2.4-548-96

| Период года | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха м/с |
|-------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Холодный    | 22-24                   | 21-25                        | 60-40                              | 0,1                           |
| Теплый      | 23-25                   | 22-26                        | 60-40                              | 0,1                           |

Для минимизации воздействия рассматриваемого фактора на организм человека следует обеспечить дистанционное управление объектом, что и является целью исследования, а также оборудование аудитории искусственной вентиляции или регулярное проветривание, влажная уборка, поскольку естественной вентиляции недостаточно для помещения данного размера. [21]

### **7.1.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте**

Источником шума является вентилятор, который охлаждает нагревательный элемент. В соответствии с нормативным документом СН 2.2.4/2.1.8.562-96 установлен допустимый предел уровня шума, не превышающий 50дБА. [14]

Воздействие шума отрицательно влияет на работу человека, поскольку вызывает головную боль, быструю утомляемость, ухудшает слух человека и ослабляет внимание. Для снижения воздействия шума может быть применен метод удаления оператора от объекта управления. [21]

### **7.1.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Персональный компьютер является основным источником повышенных электромагнитных излучений. Они усиливают риск возникновения сердечнососудистых заболеваний, а также негативно влияют на нервную систему.

Для защиты пользователя компьютера от данного вида негативного излучения необходимо обеспечить оптимальное расстояние между монитором и работником равное минимум 500 мм, установленное ГОСТ Р 50948-2001. [18].

## **7.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.**

### **7.1.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Источником недостаточной освещенности рабочей зоны является недостаток количества естественного и искусственного света, суммарная норма которых должна составлять 300-500 люкс в соответствии с СНиП 23-05-95 [15]. Недостаток естественного освещения обусловлен некорректным расположением рабочего места, поскольку свет в соответствии с нормативными документами должен освещать рабочую зону слева, что не учтено при его организации.

Поэтому для минимизации данного воздействия рабочее место должно быть оснащено дополнительными источниками искусственного света.

Светильники освещения должны обеспечивать нормальные условия освещенности с учетом специфики работы, необходимых требований видимости со стороны работника. [21] В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03 на рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛД. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному, естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы. [16]

Помещение, где проходит ВКР, освещается 12 светильниками, в каждом из которых установлено 4 люминесцентных лампы типа ЛБ-40. Для обеспечения равномерного освещения рабочих мест в помещении с учетом рекомендации составлен план размещения светильников (рисунок 27).

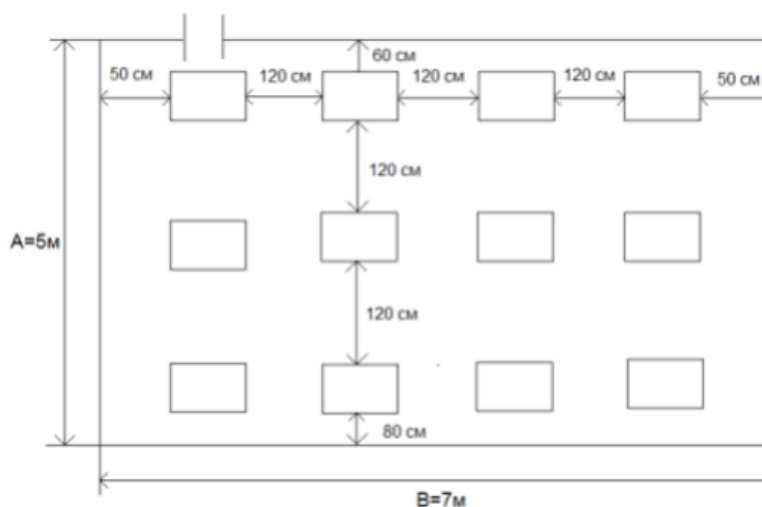


Рисунок 27 – План размещения светильников

Пульсация освещенности при работе с компьютером не должна превышать 5%, для чего необходимо использовать лампы переменного тока частотой не меньше 400Гц. [15]

### **7.1.2.2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи**

К источникам повышенного напряжения в электрической цепи относятся все электрические приборы, используемые в данном исследовании, такие как персональный компьютер, лабораторный стенд. Поскольку человек во время их эксплуатации может коснуться их частей, находящихся под напряжением, и получить электротравмы, вплоть до летального исхода.

Для безопасной работы с оборудованием, находящимся под напряжением, необходимо обеспечить правильную организацию обслуживания данного оборудования, а также выполнение основных правил по электробезопасности в соответствии с ГОСТ 29322-92. [16] Работники обязаны в случае неисправности оборудования немедленно сообщить об этом руководителю, лицам, которые осуществляют техническое обслуживание соответствующего оборудования. [21]

### **7.1.2.3 Перенапряжение зрительного анализатора**

Перенапряжение зрительного анализатора может быть вызвано продолжительной работой за компьютером, яркостью естественного света, попадающего на рабочую поверхность. Данный фактор может привести к снижению остроты зрения пользователя, развитию у него близорукости.

Защитой от данного вредного фактора могут быть зрительная гимнастика, а также обеспечение безопасного расстояния между экраном монитора и пользователем равным 600-700 мм в соответствии с нормативным документом ГОСТ Р 50948-2001. [18] Также на рабочем месте должны применяться регулируемые жалюзи и шторы, которые в поле зрения работника снижают яркость при естественном освещении, что определено инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере. [21]

## **7.2 Экологическая безопасность**

При разработке SCADA системы присутствовали негативные воздействия на литосферу в виде промышленных отходов, которые обусловлены

заменой технических средств, пассивного и вспомогательного оборудования, по причине их неисправности и устаревания. Воздействия на атмосферу и гидросферу в данной работе отсутствуют.

Причиной загрязнения окружающей среды является отправка на полигоны промышленного мусора. Устаревшее оборудование и неисправная оргтехника по роду своего происхождения относится к классу отходы производства. В свою очередь электронные промышленные отходы подразделяется на два подкласса: вторичное сырье и безвозвратные потери.

К вторичному сырью относятся переработка цветных металлов, полимерных материалов, компоненты компьютера, которые после переработки становятся деталями для изготовления новых технических устройств. Утилизация металлов осуществляется по средствам приемных пунктов, которые реализуют их первичную переработку, следующий этап утилизации решается путем различных методов сепарации. [22] Метод вторичной переработки актуален для полимерных отходов, поскольку утилизация пластика является проблемой глобального характера. Данный метод позволяет сократить количество пластиковых отходов на полигонах, что является эффективным решением существующей экологической проблемы. [23]

Часть отходов, возникших в процессе утилизации оргтехники, являются безвозвратными, поскольку в состав технического оборудования входят элементы, переработка которых на сегодняшний день нецелесообразна. Следовательно, отходы такого вида подвергаются захоронению на специализированных полигонах, что несет существенный урон литосфере нашей планеты. [25]

К классу чрезвычайно опасные отходы относятся люминесцентные лампы, утилизация которых осуществляется соответствующими организациями, до которых лампы доставляются в герметичных контейнерах. Размещение такого рода отходов на специализированных полигонах запрещено из-за содержания в них ртути. В соответствии с ГОСТ Р 52105-2003 разработаны методы

переработки таких отходов в зависимости от их типа, которые представлены в таблице 21. [29]

Таблица 21 – Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов по ГОСТ Р 52105-2003

| Наименование                                                 | Обозначение отходов по ГОСТ30775 | Группа | Подгруппа | Позиция | Метод обработки |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|-----------|---------|-----------------|
| Бракованные люминесцентные лампы                             | Q2,Q3,Q6                         | 16     | 1         | 3       | ХМ, ТМ, ВО      |
| Ступа ртутьсодержащая от переработки люминесцентных ламп     | Q9                               | 19     | 9         | 99      | ТМ              |
| Люминофор ртутьсодержащий от переработки люминесцентных ламп | Q9                               | 20     | 3         | 10      | ТМ, ВО          |

### 7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В ходе эксплуатации данной системы на рабочем месте могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации: пожары и взрывы.

Наиболее вероятными ЧС являются пожары, которые могут быть вызваны коротким замыканием, перегрузкой, нагреванием участков электросети, неисправностью оборудования и несоблюдения правил пожарной безопасности. К пожарно-профилактическим мероприятиям можно отнести: правильный выбор оборудования и способы его монтажа, систематический контроль исправности защитных устройств на электрооборудовании, создание условий обеспечивающих пожарную безопасность. [19]

С целью оповещения о возникшей чрезвычайной ситуации учебный корпус №10 НИ ТПУ оборудован речевой системой оповещения, на каждом этаже вывешен план эвакуации.

### **7.3.1 Общий порядок действий при возникновении пожара**

Главным управлением МЧС России по Томской области определен следующий порядок действий:

1. Немедленно позвонить по телефону «01», указать точный адрес, объект пожара и встретить пожарную охрану.
2. В случае только начала горения затушить водой, накрыть объект возгорания толстым одеялом, покрывалом, забросать песком, землей.
3. Ни в коем случае не тушить горящие электропроводку и электроприборы, находящиеся под напряжением, поскольку это опасно для жизни.
4. Если нет возможности справиться с огнем, и пожар принимает угрожающие размеры, срочно покиньте помещение.
5. Никогда не прячьтесь в задымленном помещении в укромные места. [25]

## **7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Существующая на сегодняшний день редакция Трудового кодекса не приравнивает работу за компьютером к вредным условиям труда. Поэтому нормативными документами, регламентирующими деятельность работника с использованием ПЭВМ, являются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к ПЭВМ и организации труда и Инструкция по охране труда при работе с ПК. Нормативным документом СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 установлено, что при работе с компьютером, пользователь обязан делать перерыв в размере 15 минут каждый час непрерывной работы. [26] «Инструкция по охране труда при работе на ПК» устанавливает следующие требования для работников: к работе с ПК допускаются работники, не имеющие медицинских противопоказаний; женщины в период беременности, кормления грудью к выполнению всех видов работ, с использованием компьютера, не допускаются. [21]

#### **7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место сотрудника обуславливается состоянием помещения, качеством мебели, техники, соблюдением всех санитарно-технических и гигиенических требований и правил, что регулируется 34 главой Трудового кодекса. Трудовым кодексом также регламентируется организация службы по охране труда, каждое рабочее место подлежит аттестации с целью выявления вредных и опасных факторов. Согласно статье 216.1 Трудового кодекса существуют органы исполнительной власти, которые осуществляют государственную экспертизу труда.

На основе СанПиН 2.2.542-96 установлены следующие требования к рабочему месту: в помещении, где происходит эксплуатация персонального компьютера, должны иметься источники естественного и искусственного освещения; площадь рабочего места для взрослых пользователей не должна быть меньше 6,0м<sup>2</sup>. [27]

Этим же стандартом регулируются требования к оборудованию, находящемуся на рабочем месте: высота рабочей поверхности стола должна быть в пределах 680-800 мм; расположение монитора от глаз пользователя должно составлять 600-700 мм; расположение клавиатуры на поверхности стола от края – 100-300 мм; высота стула над полом для человека со средним ростом 161-170 см должна составлять 420 мм. [27]

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. И.И. Мартыненко, Б.Л. Головинский, Р.Д. Прицепко, Т.Ф.Резниченко. Автоматика и автоматизация производственных процессов. Москва: Агропромиздат, 1985.
2. В.Денисенко. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cta.ru/cms/f/374303.pdf> (дата обращения 20.02.2016).
3. А.С. Переборов, А.М. Брылев, В.В. Сапожников и др. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики. Москва: Транспорт, 1984.
4. Импульсная помеха. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ai08.org/index.php/term/,9da4ab975b546c395b9c3ba39a8d61988dac9f39ae6c59a86e3daa98418d6c395b9c3cad9a8d609853aa9f39af6c8fa86e3dab98a7606c395b9c3c349a8d61988da99f39af6c8fac649c3ea49a5960988fb19f33416c8da56e3f3f983b616c335d9c3ea59a8f61988fb09fadaf6c8da46ea93d9a9a8d61988aaf9f39af6c8f386e3daa98418e6647716da7a8aa605ea0a2546a6853649e5faa685ba06fa2a458a360.xhtml> (дата обращения 16.04.2016).
5. Шумы и помехи. [Электронный ресурс]. URL: <http://bourabai.ru/signals/ts0102.htm> (дата обращения 16.04.2016).
6. Экспоненциальное сглаживание. [Электронный ресурс]. URL: [http://help.prognoz.com/ru/mergedProjects/Lib/02\\_time\\_series\\_analysis/uimodelling\\_expsmooth.htm](http://help.prognoz.com/ru/mergedProjects/Lib/02_time_series_analysis/uimodelling_expsmooth.htm) (дата обращения 30.04.2016).
7. Методическое указание. Методика разработки программы визуализации процесса управления гидравлическим объектом в пакете MasterSCADA.
8. Н.И. Вершинин, А.Л. Верцайзер, В.М. Яковлев. Автоматическое регулирование. Москва, Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1959.
9. А.С. Ключев. Двухпозиционные автоматические регуляторы и их настройка. Москва: Энергия, 1967.
10. Я.З. Цыпкин. Основы теории автоматических систем. Москва: Наука, 1977.

11. Улли Соммер. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2012.
12. Массимо Банци. Arduino для начинающих волшебников. Москва: Рид Групп, 2000.
13. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
14. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий на территории застройки.
15. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
16. ГОСТ 29322-92. Стандартные напряжения.
17. ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
18. ГОСТ Р 50948-2001. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
19. Основные причины пожаров и меры их предупреждения. [Электронный ресурс]. –URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/16/129.htm> (дата обращения 30.04.2016).
20. Основные нормы Трудового кодекса по организации труда. [Электронный ресурс]. URL: [http://oldsmb.economy.gov.ru/content/guide/startbusiness/enterprise\\_management/work\\_safety/m,f,415/](http://oldsmb.economy.gov.ru/content/guide/startbusiness/enterprise_management/work_safety/m,f,415/) (дата обращения 30.04.2016).
21. Инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. [Электронный ресурс]. URL: <http://businessforecast.by/partners/646/1379> (дата обращения 30.04.2016).
22. Утилизация промышленных отходов. [Электронный ресурс]. URL: <http://vivoz-gbo.ru/utilizaciya-promishlennih-othodov> (дата обращения 18.05.2016).
23. О вторичной переработке. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.e-plastic.ru/specialistam/vtorichnaya-pererabotka> (дата обращения 18.05.2016).

24. Отходы производства. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.musor1.ru/articles/othody-proizvodstva/> (дата обращения 18.05.2016).
25. Порядок действий при возникновении пожара. [Электронный ресурс]. URL: <http://70.mchs.gov.ru/document/1477133> (дата обращения 18.05.2016).
26. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к ПЭВМ и организации труда.
27. СанПиН 2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
28. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
29. ГОСТ Р 52105-2003. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов.
30. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Томск: Издательство ТПУ, 2014.

## Приложение А

### Программная реализация эксперимента:

```
int ledpin=13;
// подключение светодиода для проверки работоспособности программы
int lm335=0;
// объявление типа переменных для показаний с датчика и его
подключение к аналоговому входу A0
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledpin, OUTPUT);
}
void loop()
{
  double val = analogRead(lm335); //считывание показаний с датчика
  double voltage = val*5.0/1024;
  // преобразование показаний в единицы измерения напряжения (В)
  Serial.print(" VALUE V: ");
  Serial.println(voltage); //вывод значений текущего напряжения
  double temp = voltage*100 - 273.15;
  //преобразование показаний в единицы измерения температуры (°C)
  Serial.print("   VALUE T: ");
  Serial.println(temp); // вывод значений текущей температуры
  delay(2000); // интенсивность фиксирования показаний
}
```

### Программная реализация настройки ПИ-регулятора:

```
#include <PID_v1.h> //подключение стандартной библиотеки ПИД-
регулятора

double Setpoint, Input, Output;

double Kp=15, Ki=0.5, Kd=0;
```

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT); //встроенная функция ПИД-регулирования

boolean ZPID;

int SampleTime=100;

void setup()

{Serial.begin(115200);

Input = analogRead(A0)/1023; //считываем показания температуры с датчика

Setpoint = 50; // задание значения температуры в качестве уставки

myPID.SetOutputLimits(-255, 255); //границы выходного сигнала для ПИД-регулятора

myPID.SetMode(AUTOMATIC); //устанавливает автоматическое включение ПИД-регулятора

myPID.SetSampleTime(SampleTime);} //задает частоту расчета выходного сигнала

void loop()

{ZPID=myPID.Compute();} //считываем выходной сигнал ПИД-регулятора

### **Программная реализация ШИМ-сигнала:**

double Pila=0; // переменная для хранения значения

unsigned long now;

unsigned long lastPilaChange = 0;

unsigned long lastSerialOutput = 0;

bool Relay3State = false;

bool Relay4State = false;

```

bool isPWMChanged = false;// изменение пилы

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  pinMode(ledpin, OUTPUT);
  pinMode(Relay4, OUTPUT);
  pinMode(Relay3, OUTPUT); }

void loop()

now = millis();

  if (now - lastPilaChange >= 100)
  { Pila=Pila+3;

    if (Pila>=255)
    {Pila=0;

      isPWMChanged = false;}

    lastPilaChange = now; }

  if (now - lastSerialOutput >= 1000) {

    lastSerialOutput = now;

    if (Pila >= Output)
    { if (Relay3State == LOW)

      {digitalWrite(Relay3, HIGH); //выключаем печку

        isPWMChanged = true;

        Relay3State = HIGH;}}

    if ((Pila<Output) && (isPWMChanged == false))

      { if (Relay3State == HIGH)

```

```

{digitalWrite(Relay3, LOW); //включаем печку}

Relay3State = LOW;}}

if (Pila < Output)

{ if (Relay4State == LOW) {

digitalWrite(Relay4, HIGH); //выключаем печку

isPWMChanged = true;

Relay3State = HIGH;}}

if ((Output<=0) && (-Pila>Output) && (isPWMChanged == false))

{digitalWrite(Relay3, HIGH);

digitalWrite(Relay4, LOW); }

```

#### **Программная реализация фильтра экспоненциального сглаживания:**

```

double gamma = 0.002;

double y1 = 0;

void loop()

{

double val = (double)analogRead(lm335)*500.0/1024.0-273.15;

y1 = gamma * val + (1 - gamma) * y1;

Input = y1;}

```

#### **Программная реализация передачи данных между OPC сервером и микроконтроллером Arduino UNO:**

```

#include <SimpleModbusSlave.h> // подключение стандартной библиотеки
OPC сервера

HOLDING_REG_SIZE=8 //ВВОДИМ КОЛ-ВО КАНАЛОВ

unsigned int HOLDING_REGISTERS[HOLDING_REG_SIZE];

```

```

//задается массив размера регистра

    modbus_configure(&Serial,    115200,    SERIAL_8N2,    1,    2,
HOLDING_REG_SIZE, HOLDING_REGISTERS);

//вводим скорость опроса, вес передаваемых данных равен 8 бит, один из
которых старт-бит, а два стоп-биты

    modbus_update_comms(115200, SERIAL_8N2, 1);

modbus_update();

    HOLDING_REGISTERS[2]=Relay3State;

    HOLDING_REGISTERS[1]=Input;

    HOLDING_REGISTERS[2]=Output;

    HOLDING_REGISTERS[3]=Pila;

    HOLDING_REGISTERS[4]=val;

    Setpoint=HOLDING_REGISTERS[5];

    Kp=HOLDING_REGISTERS[6];

    HOLDING_REGISTERS[7]= Relay3State;

```