

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки - 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА «ОВЕН ПЛК 150» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ OPC</b>

УДК 004.384:004.451.7.031.43:681.586.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Пинэко-Скворцов Александр Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов С. В.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин А. В.			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко В. В.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е. И	к.т.н., доцент		

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения.
P2	Иметь осведомлённость о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<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 науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки - 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Громаков Е. И.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b> <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
---

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6Б	Пинэко-Скворцову Александру Алексеевичу

Тема работы:

<b>Система автоматического регулирования температуры на базе контроллера «ОВЕН ПЛК 150» с использованием технологии OPC</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 62-55/с от 02.03.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small>	Объект исследования: автоматизированные системы управления температурой. Цель работы: разработка системы автоматического регулирования (САР) температуры с использованием программного пакета MATLAB для идентификации и моделирования; а также технологии OPC для связи между MATLAB и ПЛК
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</small>	Анализ предметной области; обзор аппаратного обеспечения; обзор программного обеспечения; идентификация объекта управления; разработка модели САР в MATLAB; сравнительный анализ методов настройки ПИД-регулятора; установка взаимодействия между MATLAB и ПЛК посредством OPC.
<b>Перечень графического материала</b> <small>(с точным указанием обязательных чертежей)</small>	Сравнительная таблица методов настройки ПИД-регулятора

	Презентация в формате *.pptx
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Матвиенко В. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Т. Г.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение (Conclusion)	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	24.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов С. В.	к.т.н., доцент		
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин А. В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Пинэко-Скворцов Александр Алексеевич		

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

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки - 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Уровень образования: бакалавриат

Отделение (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2019 /2020 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:	01.06.2020
--	------------

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:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов С. В.	к.т.н., доцент		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин А. В.			

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е. И	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6Б	Пинэко-Скворцову Александру Алексеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 33664 руб. Оклад консультанта - 12664 руб. Материальные затраты – 825 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 10%; Районный коэффициент 30% Норма амортизации 33,3 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование работ, разработка диаграммы Ганта, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 3,95 Интегральный показатель эффективности – 4,384 Сравнительная эффективность проекта – 1,086

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Пинэко-Скворцов Александр Алексеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т6Б	Пинэко-Скворцову Александру Алексеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

<b>Система автоматического регулирования температуры на базе контроллера «ОВЕН ПЛК 150» с использованием технологии OPC</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования и разработки является система автоматического регулирования температуры. Работа проводится на лабораторном стенде, содержащем ПК, программируемый логический контроллер, преобразователь частоты, нагреватель, вентилятор, блок питания и другие вспомогательные компоненты. Потенциальными потребителями являются промышленные предприятия, сфера ЖКХ.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) [21]</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [22]</li> <li>– ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования» [23]</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– недостаточная освещённость;</li> <li>– электромагнитные поля;</li> <li>– электрический ток;</li> <li>– механические воздействия;</li> <li>– высокая температура поверхностей оборудования</li> </ul>

<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– воздействие на атмосферу – косвенное, через потребление электроэнергии; – воздействие на гидросферу – косвенное, через потребление электроэнергии; – воздействие на литосферу – прямое, через образование отходов и косвенное, через потребление электроэнергии.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– короткое замыкание; – пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко В. В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Пинэко-Скворцов Александр Алексеевич		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 с., 36 рис., 19 табл., 40 источников, 1 прил.

Ключевые слова: тепловой объект, автоматическое регулирование, ОВЕН ПЛК 150, MATLAB, Simulink, моделирование, идентификация, OPC.

Целью данной работы является разработка системы автоматического регулирования температуры. В системе используется контроллер «ОВЕН ПЛК 150». Предлагается использовать программный пакет MATLAB в качестве средства для отладки уровня локальной автоматики и выработки управляющего воздействия. Связь MATLAB Simulink с контроллером осуществляется посредством технологии OPC.

В ходе работы в программном пакете MATLAB проводятся: идентификация, предварительное моделирование САР и сравнительный анализ методов настройки ПИД-регулятора. На основании анализа выбраны подходящие значения настроечных параметров. Для подготовки к испытаниям системы проведена настройка OPC-сервера CODESYS, на языке FBD написана программа для ПЛК, в MATLAB Simulink создана управляющая модель, установлена связь с ПЛК.

В результате работы была проведена подготовка к натурным испытаниям системы.

Предлагаемый подход к созданию систем автоматического регулирования, заключающийся в предварительном моделировании системы и отладки регулятора на модели, позволяет уменьшить вероятность выхода системы из строя вследствие ошибки разработчика и/или оператора и таким образом избежать возможных временных и финансовых затрат.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ .....	14
2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	15
2.1 Описание аппаратного обеспечения .....	15
2.1.1 Объект управления и измерительный преобразователь .....	16
2.1.2 Программируемый логический контроллер .....	18
2.1.3 Преобразователь частоты и двигатель.....	19
2.2 Описание программного обеспечения.....	20
2.2.1 Инструментальная среда CODESYS.....	20
2.2.2 Технология OPC.....	20
2.2.3 Программный пакет MATLAB.....	21
3 РАЗРАБОТКА САР.....	22
3.1 Идентификация объекта управления.....	22
3.1.1 Передаточная функция по возмущению .....	24
3.1.2. Передаточная функция по управлению.....	27
3.2 Моделирование системы.....	29
3.3 Настройка регулятора.....	32
3.3.1 Метод Стогестада (Skogestad) .....	33
3.3.2 Метод Куна (Kuhn) – правило T-суммы.....	34
3.3.3 Метод Шубладзе .....	36
3.3.4 Метод Шеделя .....	37
3.3.5 Автоматический метод настройки MATLAB .....	39
4 НАСТРОЙКА СВЯЗИ MATLAB С ПЛК .....	41
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	45
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	45
5.2 Анализ конкурентных технических решений.....	46
5.3 SWOT-анализ.....	48
5.4 Планирование научно-исследовательской работы.....	50
5.4.1 Структура работ .....	50
5.4.2 Разработка графика проведения научно-технического исследования .	51

5.5 Бюджет научно-технического исследования .....	55
5.5.1 Расчёт материальных затрат .....	55
5.5.2 Расчёт амортизационных отчислений .....	56
5.5.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды .....	57
5.5.4 Расчёт общей себестоимости .....	58
5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	59
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	64
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	64
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	65
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	65
6.2 Профессиональная социальная безопасность .....	67
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов при проведении исследования .	67
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	68
6.3 Экологическая безопасность.....	74
6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	74
6.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	74
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	75
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	75
6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	78
CONCLUSION .....	79
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Сравнительная таблица методов настройки ПИД-регулятора .....	85

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в развитых странах большинство технологических процессов автоматизировано, в той или иной степени. Введение автоматизированных систем управления в производство является одним из важнейших аспектов оптимизации производственных процессов. Использование информационных технологий в производстве для контроля, регулирования технологических параметров, сигнализации, блокировки аварийных объектов, обработки данных о процессе позволяет повысить уровень безопасности на предприятии, сократить временные и экономические издержки на проведение технологических операций, минимизировать простой оборудования, оптимизировать логистическую систему предприятия.

С распространением автоматизированных систем и ростом их сложности возрастает цена возможной ошибки разработчика такой системы. Случайный вывод из строя дорогостоящего компонента системы может привести к огромным финансовым потерям и срыву сроков ввода системы в эксплуатацию. Вместе с этим возрастает важность проведения предварительного компьютерного моделирования. К очевидным преимуществам такого подхода можно отнести сохранность реального оборудования при проектировании и настройке системы, а также сокращение времени на испытания регуляторов. Из недостатков выделяются повышенные требования к квалификации разработчика АСУ ТП и необходимость выделения сроков на построение и испытание модели.

Целью данной работы является разработка системы автоматического регулирования температуры на базе контроллера «ОВЕН ПЛК 150» с использованием технологии OPC для связи контроллера с программным пакетом MATLAB, который будет использоваться для моделирования системы, настройки регулятора и выработки управляющего сигнала.

В процессе разработки ставятся следующие задачи:

- 1) идентификация объекта управления;

- 2) построение модели с учётом специфики имеющегося оборудования;
- 3) сравнительная характеристика методов настройки регулятора;
- 4) установка связи MATLAB с оборудованием стенда и подготовка к натурным испытаниям.

Разработка системы автоматического регулирования начинается с анализа предметной области.

## 1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В настоящей работе рассматривается регулирование температуры объекта посредством охлаждения при неконтролируемом нагревании. Это позволяет отнести объект управления к классу тепловых объектов.

Тепловые объекты являются термодинамическими системами, имеющими несколько входных и выходных величин. В [1] отмечается, что для упрощения моделирования таких объектов применяют модели с сосредоточенными теплофизическими параметрами. Энергия и масса в таких моделях принимаются сосредоточенными в небольшом конечном числе материальных точек. При этом физические величины, которыми система характеризуется в каждой точке, являются функциями времени и не зависят от пространственных координат участков системы. Такой подход позволяет представить сложную систему в виде модели с последовательным и/или параллельным соединением моделей каждого участка (элемента).

Тепловые объекты обладают, как правило, значительным запаздыванием и инерционностью [2]. Следовательно, системы автоматического регулирования температуры таких объектов также обладают большой инерционностью с продолжительными переходными процессами. В [3] утверждается, что тепловой объект – это всегда объект с самовыравниванием температуры. Это означает, что при произвольном управляющем сигнале регулятора регулируемая величина (температура) с течением времени примет установившееся значение, пропорциональное управляющему сигналу. Также в [3] рекомендуется для большинства случаев регулирования температуры выбирать ПИД закон регулирования.

## 2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

### 2.1 Описание аппаратного обеспечения

Работа проводится на лабораторном стенде в лаборатории основ автоматики 10 корпуса НИ ТПУ (рисунок 2.1.1, 2.1.2).

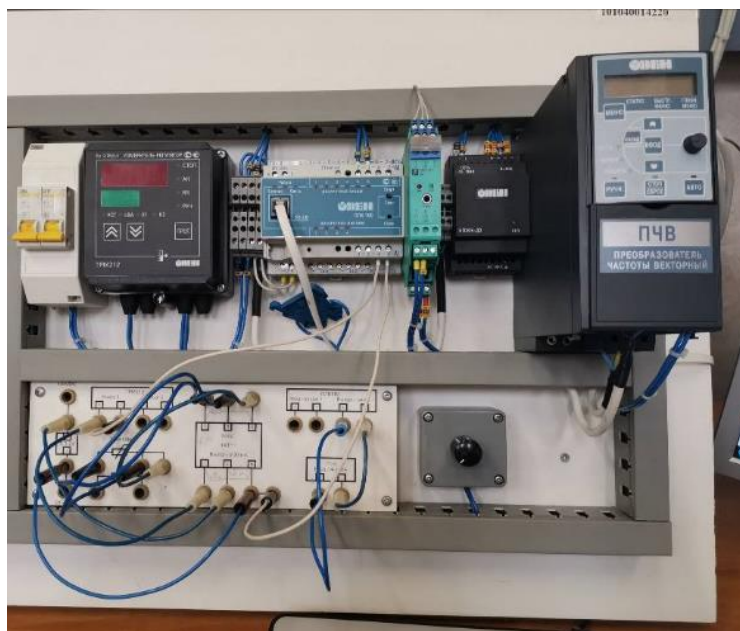


Рисунок 2.1.1 – Щит соединений и управления стендом



Рисунок 2.1.2 – Объект управления (слева) и исполнительное устройство (справа)

Схема лабораторного стенда приведена на рисунке 2.1.3.

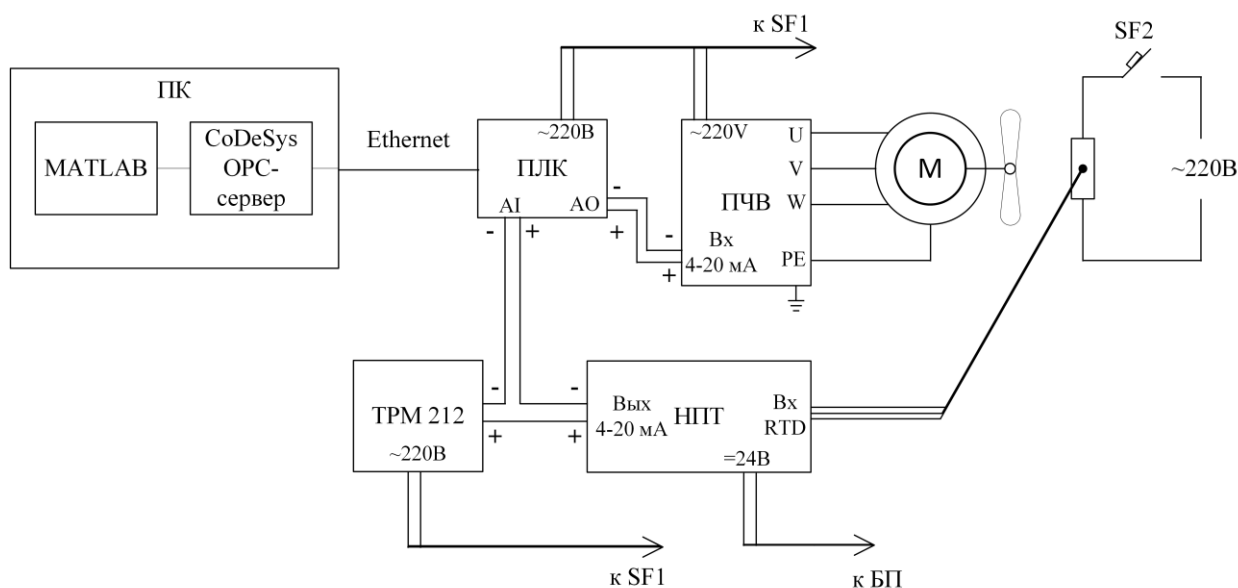


Рисунок 2.1.3 – Схема лабораторного стенда

На рисунке 2.1.3 объект управления и измерительный преобразователь представлены одним элементом, так как на стенде они конструктивно объединены.

На схеме (рисунок 2.1.3) также представлены:

- ПЛК – программируемый логический контроллер «ОВЕН ПЛК 150»;
- ПЧВ – преобразователь частоты векторный «ОВЕН ПЧВ 1»;
- НПТ – нормирующий преобразователь температуры Pepperl+Fuchs KFD2-UT2-Ex1;
- ТРМ 212 – измеритель-регулятор производства компании ОВЕН (для визуального отображения на стенде температуры объекта);
- SF1, SF2 – автоматические выключатели.

### 2.1.1 Объект управления и измерительный преобразователь

В качестве объекта управления на стенде используется резистор C5-35B с сопротивлением 4,7 кОм (рисунок 2.1.1.1).





Рисунок 2.1.1.1 – Объект управления

В качестве измерительного преобразователя используется термосопротивление ТСП 100П. Элемент датчика 100П представляет собой проволочную намотку из тонкой платиновой проволоки, помещенной в керамический корпус, сопротивление этой намотки меняется в зависимости от температуры (элементы 100П отличаются высокой точностью и возможностью работы вплоть до 1100 °С) [4].

Снимаемое напряжение с ТСП 100П подаётся на нормирующий преобразователь Pepperl+Fuchs KFD2-UT2-Ex1 (рисунок 2.1.1.2). Он преобразует снимаемое с термосопротивления напряжение в унифицированный токовый сигнал 4-20 мА, соответствующий измерительному диапазону температуры от 0 до плюс 300 °С.



Рисунок 2.1.1.2 – Нормирующий преобразователь температуры

Для питания нормирующего преобразователя используется одноканальный источник питания 24В постоянного тока БП30Б-ДЗ (рисунок 2.1.1.3).



Рисунок 2.1.1.3 – БП30Б-ДЗ

Для визуального отображения температуры на стенде используется измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ 212 (рисунок 2.1.1.4). Связь с нормирующим преобразователем поддерживается по «токовой петле».



Рисунок 2.1.1.4 – Измеритель-регулятор температуры ОВЕН ТРМ 212

## 2.1.2 Программируемый логический контроллер

Токовый сигнал от нормирующего преобразователя также поступает на аналоговый вход контроллера ОВЕН ПЛК 150 (рисунок 2.1.2.1). В данной работе ПЛК обеспечивает связь системы с персональным компьютером, а также реализует управляющие воздействия через ПЧВ на двигатель.



Рисунок 2.1.2.1 – ОВЕН ПЛК 150

### 2.1.3 Преобразователь частоты и двигатель

Для плавного пуска и управления двигателем используется векторный преобразователь частоты ОВЕН ПЧВ (рисунок 2.1.3.1).



Рисунок 2.1.3.1 – ОВЕН ПЧВ

Для охлаждения объекта управления в лабораторной установке используется общепромышленный трёхфазный асинхронный электродвигатель АИР56А2У3, с прикрепленными к его ротору лопастями (рисунок 2.1.3.2).



Рисунок 2.1.3.2 – Асинхронный двигатель

Питание лабораторного стенда и включение нагрева (220 В) осуществляется автоматическими выключателями в верхней левой части стенда. Соединение компонентов между собой осуществляется при помощи панели в левой нижней части стенда.

## **2.2 Описание программного обеспечения**

### **2.2.1 Инструментальная среда CODESYS**

Для программирования контроллера, а также для регистрации значений разгонной характеристики объекта на этапе идентификации используется инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации CODESYS версии 2.3 производства компании 3S-Smart Software Solutions GmbH. В CODESYS для программирования доступны все пять языков, определяемых стандартом МЭК 61131-3:

- IL (Instruction List);
- ST (Structured Text);
- LD (Ladder Diagram);
- FBD (Function Block Diagram);
- SFC (Sequential Function Chart) [5].

### **2.2.2 Технология OPC**

Одной из самых широко используемых технологий, используемых в системах автоматизации для связи среднего уровня АСУ ТП с верхним уровнем, является технология OPC. В настоящее время принято расшифровывать OPC как «Open Platform Communications» (ранее: «OLE for process control»). OPC представляет собой стандарт взаимодействия для защищённого и надёжного обмена данными в сфере автоматизации технологических процессов и производств. Он является платформонезависимым и обеспечивает

информационный поток между устройствами разных производителей и позволяет строить открытые системы [6].

### **2.2.3 Программный пакет MATLAB**

Для идентификации объекта управления, моделирования системы управления, настройки регулятора, а затем также для осуществления регулирования через OPC используется пакет прикладных программ для технических вычислений MATLAB, а также его модули Simulink, System Identification Toolbox и OPC Toolbox.

Simulink представляет собой графическую среду, предназначенную для имитационного моделирования. Она позволяет строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и смешанные, нелинейные системы при помощи блок-диаграмм [7].

System Identification Toolbox используется для создания моделей динамических систем. Этот модуль позволяет использовать данные входа, выхода во временной и частотной областях для идентификации непрерывных и дискретных передаточных функций, моделей процессов и моделей в пространстве состояний [8].

OPC Toolbox – представляет собой модуль, позволяющий расширить возможности MATLAB и Simulink средствами взаимодействия с OPC серверами. Он позволяет читать и записывать данные с устройств совместимых со стандартами OPC, а также осуществляет взаимодействие с SCADA-системами и с программируемыми логическими контроллерами [9].

### **3 РАЗРАБОТКА САР**

Для разработки системы автоматического регулирования первоначально необходимо создать модель объекта управления и отработать на ней синтезируемые регуляторы. Такой подход позволяет испробовать различные виды регуляторов и методы их настройки с гораздо меньшими временными затратами (переходный процесс на модели рассчитывается очень быстро). В то же время возможные ошибки при настройке не нанесут ущерба реальному оборудованию.

#### **3.1 Идентификация объекта управления**

Содержание науки идентификации заключается в построении математической модели объекта на основе результатов наблюдений за его поведением. В общем случае, задача идентификации сводится к определению передаточной функции, преобразующей входные воздействия в выходные величины объекта [10].

Для решения задачи идентификации будет задействована программная среда CODESYS и модуль System Identification Toolbox программного пакета MATLAB.

Создаётся проект в CODESYS, в качестве целевой платформы выбирается ПЛК 150 А-М, target-файл которого был предварительно установлен в CODESYS.

В конфигурации ПЛК назначается имя переменной ( $X_{in}$ ) для того входа, к которому подключен нормирующий преобразователь (рисунок 3.1.1).

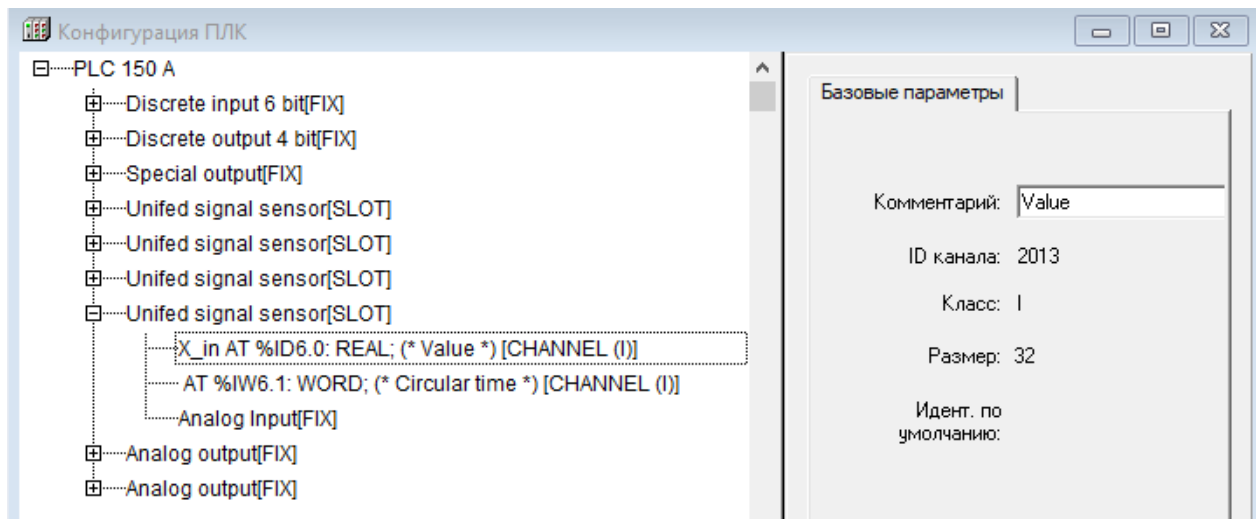


Рисунок 3.1.1 – Назначение переменной X\_in входу контроллера

Далее средствами CODESYS создаётся визуализация, на которую помещается элемент Тренд из палитры объектов.

В окне конфигурации тренда выбирается переменная X\_in, а также устанавливается режим регистрации «История», обозначается директория и имя выходного файла, в который будут записываться значения переменной (рисунок 3.1.2).

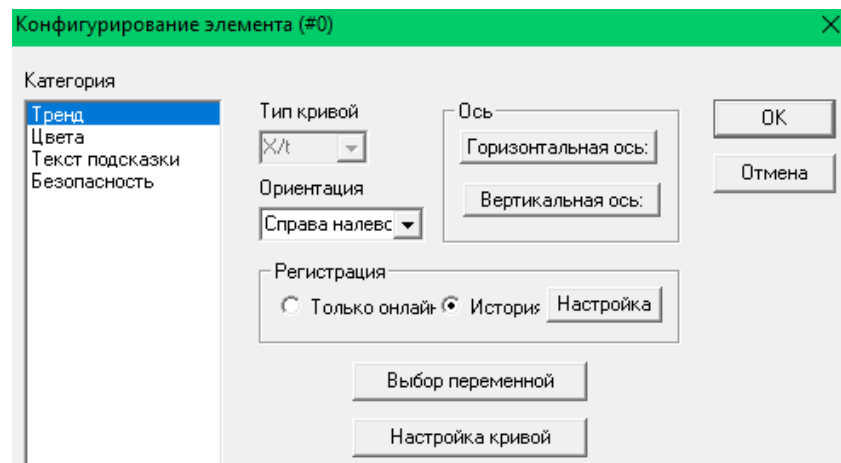


Рисунок 3.1.2 – Окно конфигурирования тренда

После этого для записи значений токового сигнала от НПТ достаточно подключиться к контроллеру и запустить программу, содержащую хотя бы одну строку.

### 3.1.1 Передаточная функция по возмущению

Возмущением в системе принимается неконтролируемое действие нагревателя. Для получения разгонной характеристики объекта по возмущению необходимо выключить двигатель, зафиксировать начальную комнатную температуру и включить нагреватель автоматическим выключателем на стенде.

Когда сигнал на графике примет установившееся значение, программа останавливается, нагрев выключается. Выходной файл имеет вид, представленный на рисунок 3.1.1.1.

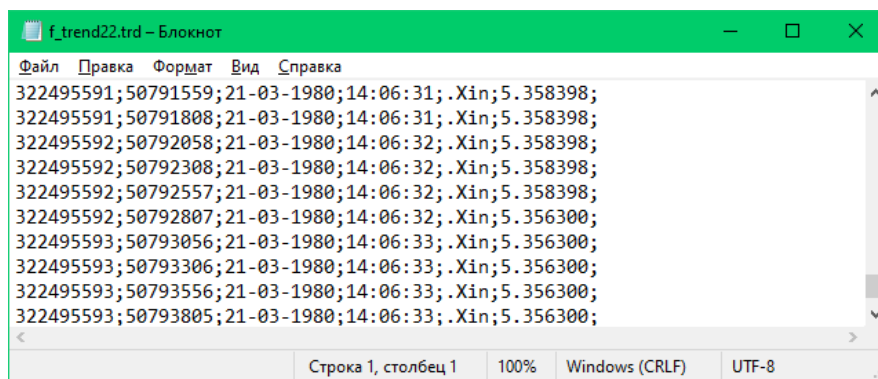


Рисунок 3.1.1.1 – Вид выходного файла

В выходном файле с периодом 0,25 с происходит запись текущего времени в секундах, текущей даты в формате ДД-ММ-ГГГГ, времени в формате ЧЧ-ММ-СС, названия переменной и её значения. Полученные данные помещаются в Microsoft Excel, где оставляется только столбец со значениями сигнала. Чтобы перевести значения тока в значения температуры, необходимо значение тока умножить на величину  $K$ , полученную по формуле (3.1.1.1).

$$K = \frac{\Delta T}{\Delta I} = \frac{300}{16} = 18,75 \text{ (}^\circ\text{C / mA)}, \quad (3.1.1.1)$$

где  $\Delta T$  – диапазон температуры нормирующего преобразователя,  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta I$  – диапазон тока на выходе нормирующего преобразователя, мА.



При этом нормирование сигнала считается линейным.

После умножения полученный столбец значений импортируется в MATLAB в виде числовой матрицы (Numeric Matrix), также задаётся единичный столбец такой же размерности. Следующим шагом необходимо запустить модуль System Identification Toolbox и импортировать данные уже в него, указав при этом временной шаг (рисунок 3.1.1.2).

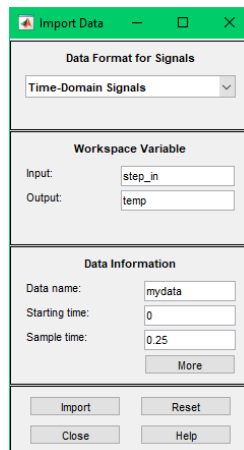


Рисунок 3.1.1.2 – Окно импорта данных System Identification Toolbox

После импорта данных необходимо выбрать метод оценки Transfer Function Models (модели передаточных функций) и указать количество предполагаемых полюсов и нулей передаточной функции идентифицируемого объекта (рисунок 3.1.1.3).

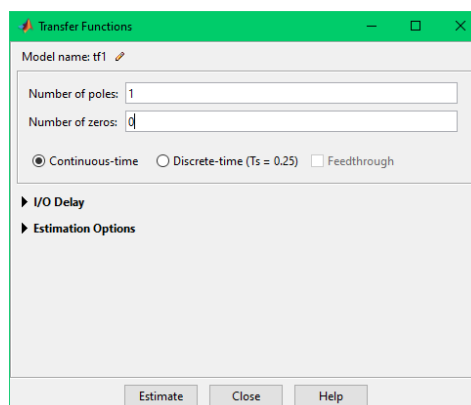


Рисунок 3.1.1.3 – Окно Transfer Function Models

По отношению к возмущению объект принимается аperiodическим звеном первого порядка, следовательно, количество полюсов передаточной функции равно 1, количество нулей – 0. После нажатия кнопки Estimate (рассчитать) производится идентификация передаточной функции объекта на основании импортированных данных.

Полученная передаточная функция имеет следующий вид (рисунок 3.1.1.4)

```
From input "u1" to output "y1":  
1.113  
-----  
s + 0.005557  
Name: tf1  
Continuous-time identified transfer function.
```

Рисунок 3.1.1.4 – Полученная передаточная функция объекта по возмущению

Окно сравнения переходной характеристики полученной модели с исходными данными представлено на рисунке 3.1.1.5.

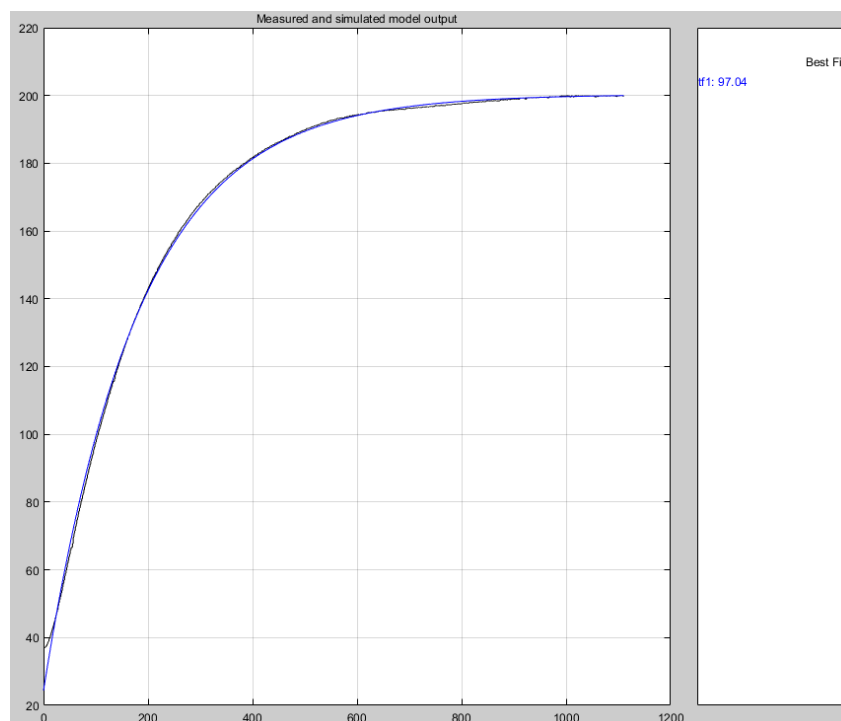


Рисунок 3.1.1.5 – Аппроксимация объекта аperiodическим звеном первого порядка

Как показано на рисунке 3.1.1.5, применённый метод смог обеспечить совпадение реальной переходной характеристики (а, следовательно, и передаточной функции) с расчётной на 97,04%. Передаточная функция объекта по возмущению:

$$W_{yf}(s) = \frac{1,113}{s + 0,0056} \cdot \quad (3.1.1.2)$$

### **3.1.2. Передаточная функция по управлению**

Управлением в системе принимается воздействие вентилятора на объект управления. Прежде чем получать разгонную характеристику объекта по управлению, необходимо, что нагреватель в системе будет включен постоянно. Следовательно, для получения разгонной характеристики регистрацию данных необходимо начать от установившейся максимальной температуры (200 °С) с включенным нагревателем и при максимальной интенсивности охлаждения. Когда сигнал на графике примет установившееся значение, программа останавливается, двигатель и нагреватель выключаются. Далее проводится процедура, аналогичная п. 3.1.1.

В качестве первого приближения решено обозначить объект апериодическим звеном второго порядка. Окно сравнения переходной характеристики полученной модели с исходными данными представлено на рисунке 3.1.2.1.

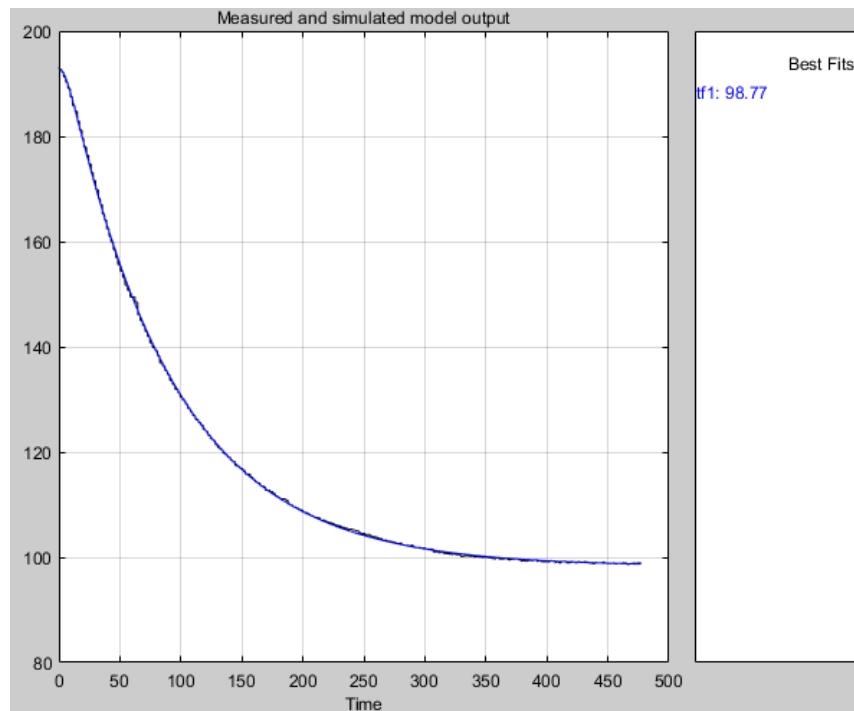


Рисунок 3.1.2.1 – Аппроксимация объекта аperiodическим звеном второго порядка

На рисунке 3.1.2.1. показано, что аperiodическое звено второго порядка отражает динамические свойства объекта на 98,77%. Рассчитанная передаточная функция приведена на рисунке 3.1.2.2.

```

From input "u1" to output "y1":
      0.2091
-----
s^2 + 0.198 s + 0.002127
Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

```

Рисунок 3.1.2.2 – Передаточная функция объекта по управлению

Далее в модели используется передаточная функция объекта по управлению:

$$W_{yu}(s) = \frac{0,2091}{s^2 + 0,198s + 0,002127} = \frac{98,307}{(87,73s + 1) \cdot (5,359s + 1)} \cdot \quad (3.1.2.1)$$

Следует отметить, что при одновременном включении нагревателя и двигателя на максимальной мощности происходит установка значения температуры объекта на уровне 100 °С. Следовательно, система способна обрабатывать задающие воздействия только в пределах диапазона от 100 до 200 °С. На этом процедура идентификации считается завершённой.

### **3.2 Моделирование системы**

В [11] отмечается, что система MATLAB/Simulink является в настоящее время одним из наиболее популярных инструментов для моделирования и численных расчётов, применяющимся в различных областях знаний.

При построении модели системы автоматического регулирования температуры необходимо учесть следующие факторы:

1 Температура объекта в модели не должна принимать значения ниже комнатной, так как оборудование физически этого не позволяет.

2. ПИД-регулятор не должен выдавать управляющие воздействия, которые ПЧВ и двигатель не смогут обработать. Следовательно, нужно ограничить диапазон управляющего воздействия, выдаваемого регулятором.

3. При передаче управляющего воздействия через ОРС происходит временная задержка.

4. Задание температуры может быть изменено неоднократно в процессе работы системы.

5. Рост мощности двигателя будет приводить к понижению температуры объекта управления, следовательно, регулирование в проектируемой системе является инверсным: нагреватель вносит положительный вклад в температуру объекта, а вентилятор – отрицательный.

б. Для перевода диапазона изменения управляющего воздействия от регулятора в диапазон 0-100% мощности двигателя требуется запрограммировать блок преобразования.

Построенная в Simulink с учётом всех вышеперечисленных требований приведена на рисунке 3.2.1.

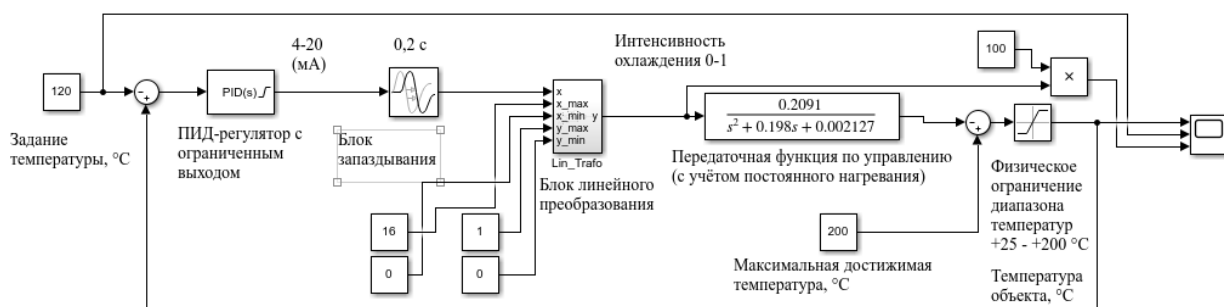


Рисунок 3.2.1 – Модель САП в Simulink

В итоговом варианте модели (рисунок 3.2.1) решено не использовать ранее полученную передаточную функцию объекта по возмущению, так как действие возмущения (постоянный нагрев объекта) уже учтено в передаточной функции объекта по управлению.

Выходной сигнал ПИД-регулятора ограничен диапазоном от 0 до 16 ед. (соответствует диапазону унифицированного токового сигнала 4-20 мА). В силу того, что при получении передаточной функции объекта по управлению использовался единичный ступенчатый сигнал, необходимо преобразовать диапазон выходного сигнала ПИД-регулятора (0-16 ед.) в диапазон интенсивности охлаждения (0-1 ед.). Для этого был запрограммирован блок линейного преобразования, аналогичный функциональному блоку преобразования LIN\_TRAFO из библиотеки Util CODESYS. Содержимое блока приведено на рисунке 3.2.2.

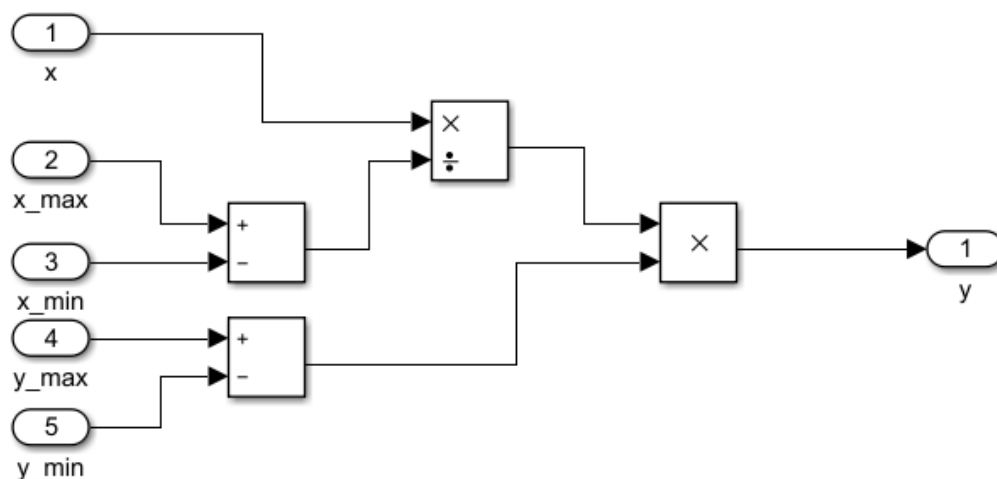


Рисунок 3.2.2 – Внутреннее устройство блока линейного преобразования

В ПИД-регуляторе в Simulink дифференциальная составляющая по умолчанию включает в себя фильтр нижних частот с постоянной  $N$ . Также в ПИД-регуляторе включена опция Clamping (дословно: «ограничение», «фиксирование»). Принцип действия заключается в следующем: при достижении выходным сигналом регулятора заданных границ интегрирование ошибки регулирования приостанавливается, чтобы минимизировать влияние насыщения интегральной составляющей на переходный процесс [12]. Окно свойств блока ПИД-регулятора приведено на рисунке 3.2.3.

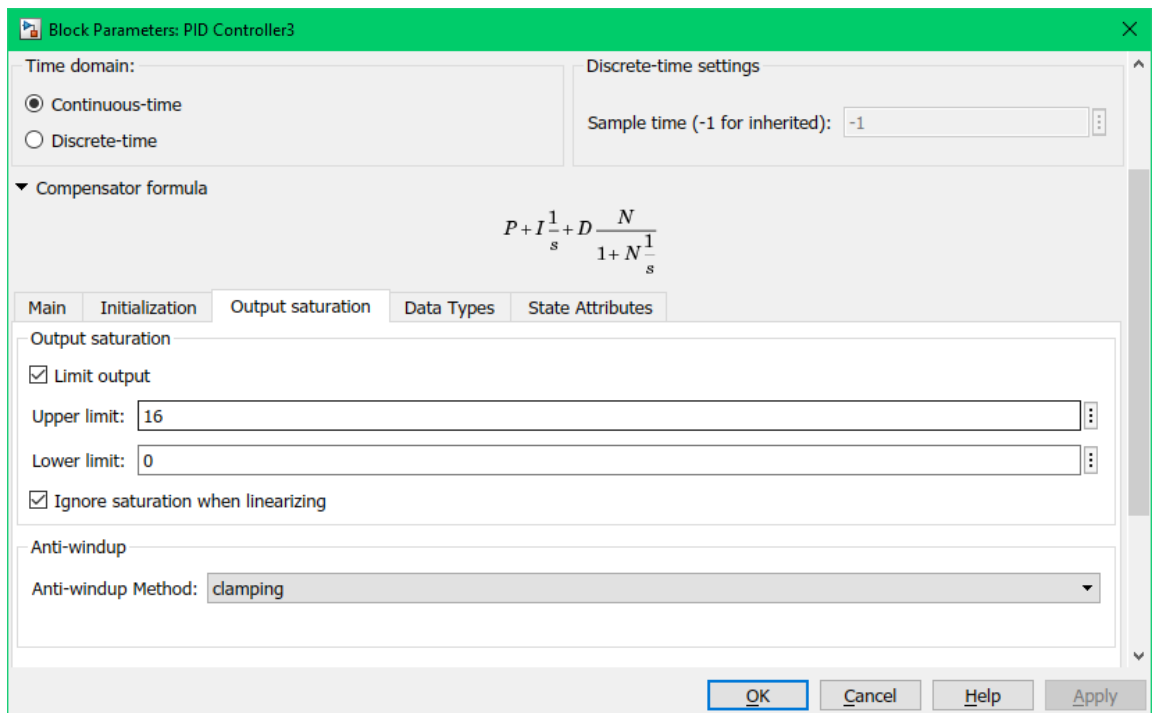


Рисунок 3.2.3 – Окно свойств блока ПИД-регулятора

В модели выбрано значение запаздывания, равное 0,2 с, с учётом времени цикла ПЛК, равного 0,1 с, а также запаса времени на передачу управляющего сигнала из ПК к контроллеру и далее через ПЧВ к двигателю.

### 3.3 Настройка регулятора

В качестве регулятора в разрабатываемой системе предлагается использовать пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. Это обуславливается сравнительной простотой разрабатываемой системы, необходимостью регулирования только одного параметра, а также обширным множеством доступных к применению методов настройки таких регуляторов, которые будут рассмотрены далее.

Прежде чем настраивать регулятор, необходимо сформировать требования к переходному процессу. Решено выбирать настройки регулятора таким образом, чтобы обеспечить перерегулирование на уровне не более 5%, время переходного процесса не более 160 с. Для обеспечения одинаковых



условий испытания ступенчатое задающее воздействие представляет собой скачок от уровня 200 °С до уровня 120 °С.

Здесь следует отметить, что широко использующийся метод Циглера-Никольса к разрабатываемой системе не применим, так как диапазон регулятора изначально ограничен с учётом технических характеристик компонентов, и в связи с этим невозможно привести систему к автоколебательному режиму.

### 3.3.1 Метод Стогестада (Skogestad)

Принцип метода заключается в аппроксимации объекта управления звеном первого порядка с «эффективным» запаздыванием (для ПИ-регулятора) и звеном второго порядка с «эффективным» запаздыванием (для ПИД-регулятора) [13]. Далее для объекта второго порядка с запаздыванием коэффициенты регулятора вычисляются по формулам из таблицы 3.3.1.1.

Таблица 3.3.1.1 – Метод Стогестада

Объект управления	$K_p$	$T_I$	$T_D$
$\frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau s}$	$\frac{T_1}{K(T_C + \tau)}$	$\min[T_1, k(T_C + \tau)]$	$T_2$

В [13] рекомендуется выбирать  $k = [1,44;4]$ , чем меньше значение, тем быстрее обрабатывается ошибка регулирования. Также выбирается  $T_C = \tau$ , где  $\tau$  – время запаздывания. Для объекта второго порядка  $T_1$  – наибольшая постоянная времени,  $T_2$  – наименьшая. В силу большой инерционности тепловых процессов решено выбрать коэффициент  $k = 1,44$ . Коэффициенты ПИД-регулятора, рассчитанные по формулам из таблицы 3.3.1.1, а также перерегулирование  $\sigma$  и время переходного процесса  $t$  замкнутой системы с таким регулятором при ступенчатом входном воздействии, обозначенном в п.

3.3, представлены в Приложении А. Вид переходного процесса при настройке регулятора по методу Стогестада представлен на рисунке 3.3.1.1.

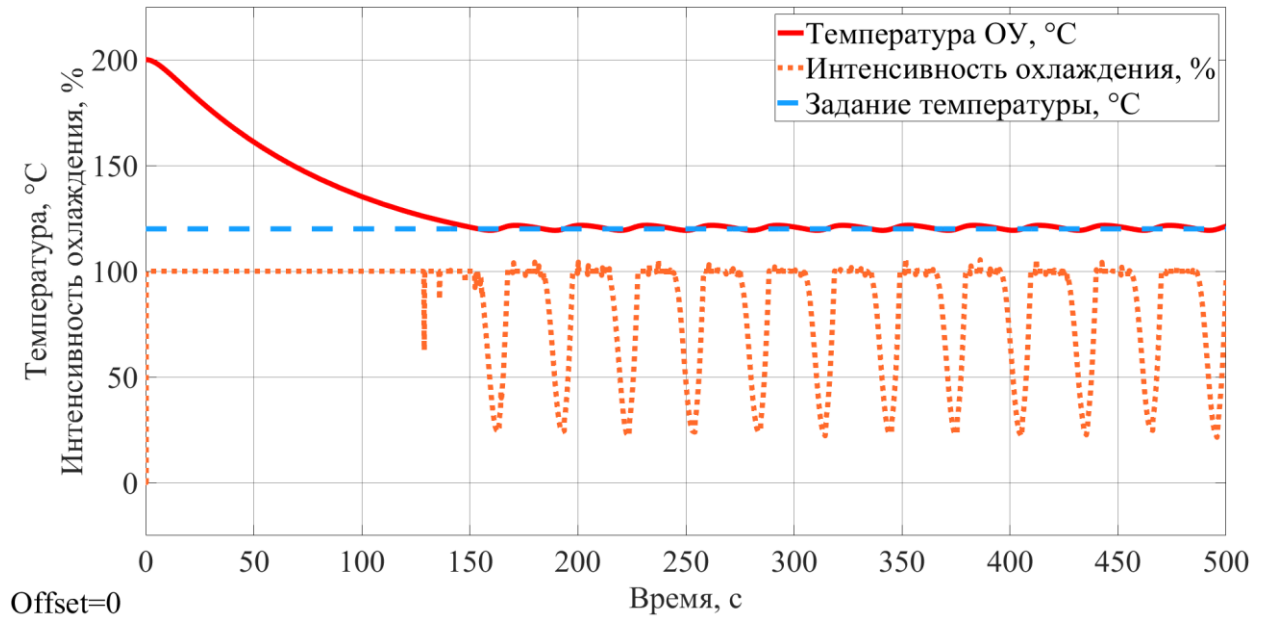


Рисунок 3.3.1.1 – Переходный процесс при настройке по методу Стогестада

$$K_p = 2,231; K_I = 3,873; K_D = 11,956; N = 100.$$

Несмотря на то, что настройка регулятора по методу Стогестада позволила обеспечить перерегулирование  $\sigma$  на уровне 0,875% и допустимое время переходного процесса ( $t = 142$  с), наблюдаются незатухающие колебания интенсивности охлаждения в диапазоне от 20 до 100%, что нежелательно из-за повышенного износа оборудования.

### 3.3.2 Метод Куна (Kuhn) – правило Т-суммы

Правило Т-суммы утверждает [14], что параметром, характеризующим быстродействие любых рассматриваемых объектов, является суммарная постоянная времени  $T_\Sigma$ . Для системы с передаточной функцией общего вида

$$W(s) = \frac{K(1+T_{d1}s)(1+T_{d2}s)\dots(1+T_{dm}s)}{(1+T_1s)(1+T_2s)\dots(1+T_ns)} e^{-\tau s} \quad (3.3.2.1)$$

суммарная постоянная времени рассчитывается как

$$T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + \dots + T_n - T_{d1} - T_{d2} - \dots - T_{dm} + \tau. \quad (3.3.2.2)$$

Параметры настройки регулятора по правилу Т-суммы в двух видах представлены в таблице 3.3.2.1

Таблица 3.3.2.1 – Значения коэффициентов по правилу Т-суммы

Вид настройки	Параметры настройки		
	$K_P$	$T_I$	$T_D$
«Нормальная»	$\frac{1}{K}$	$0,66T_{\Sigma}$	$0,167T_{\Sigma}$
«Быстрая»	$\frac{2}{K}$	$0,8T_{\Sigma}$	$0,194T_{\Sigma}$

Предлагается выбрать «быструю» настройку чтобы ускорить переходный процесс.

Вид переходного процесса при настройке регулятора по правилу Т-суммы представлен на рисунке 3.3.2.1.

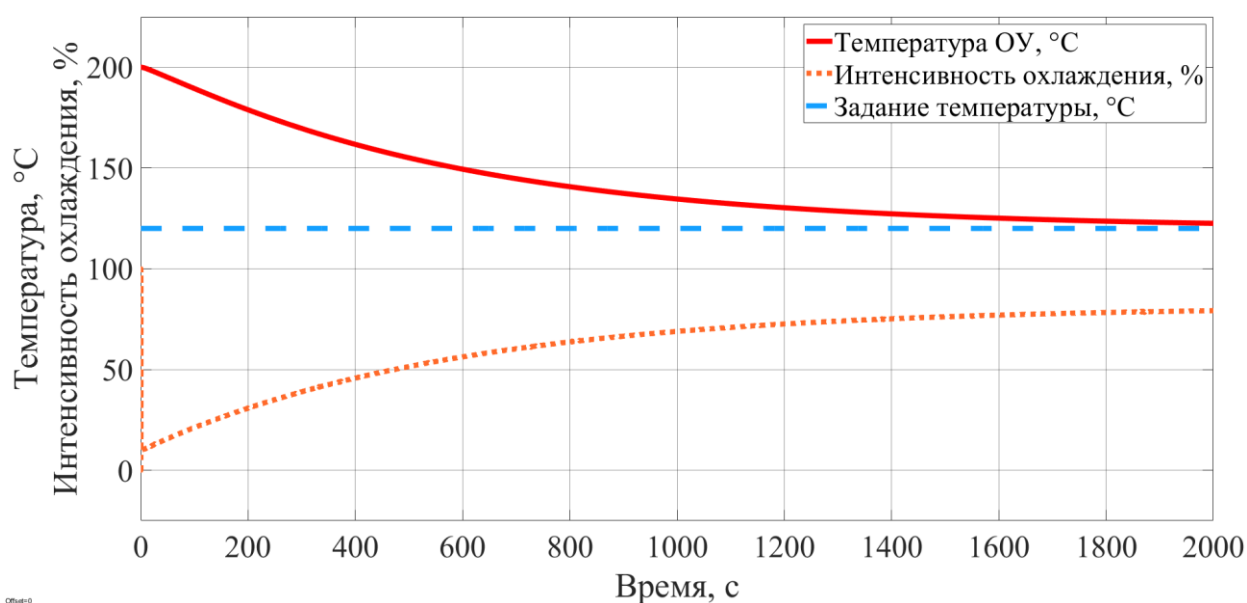


Рисунок 3.3.2.1 – Переходный процесс при настройке по правилу Т-суммы

$$K_p = 0,02; K_I = 0,000273; K_D = 0,368; N = 100.$$

При настройке регулятора по правилу Т-суммы наблюдается неприемлемо большая длительность переходного процесса ( $t = 1740$  с).

### 3.3.3 Метод Шубладзе

В [15] изложен способ настройки ПИД-регулятора по методу А. М. Шубладзе. Для системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k_0}{(T_1 \cdot s + 1)^n \cdot (T_2 \cdot s + 1)} \quad (3.3.3.1)$$

промежуточный параметр  $I$  и настроечные параметры ПИД-регулятора вычисляются по соотношениям (3.3.3.2 – 3.3.3.5):

$$I = \frac{1}{2 \cdot T_1} + \frac{1}{4 \cdot T_2}, \quad (3.3.3.2)$$

$$K_D = \frac{-0.5 \cdot (-T_1 \cdot I + 1)^{n-1} \cdot ((n+1) \cdot (n+2) \cdot T_1^2 \cdot T_2 \cdot I^2 - (n+1) \cdot (n \cdot T_1 + 4 \cdot T_2) \cdot T_1 \cdot I + 2 \cdot (n \cdot T_1 + T_2))}{k_0}, \quad (3.3.3.3)$$

$$K_P = \frac{-((-T_1 \cdot I + 1)^{n-1} \cdot ((n+2) \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot I^2 - ((n+1) \cdot T_1 + 2 \cdot T_2) \cdot I + 1) - 2 \cdot k_d \cdot k_0 \cdot I)}{k_0}, \quad (3.3.3.4)$$

$$K_I = -((-T_1 \cdot I + 1)^n \cdot (T_2 \cdot I - 1) \cdot \frac{I}{k_0} + k_d \cdot I^2 - k_{II} \cdot I). \quad (3.3.3.5)$$

Вид переходного процесса при настройке регулятора по методу Шубладзе представлен на рисунке 3.3.3.1.

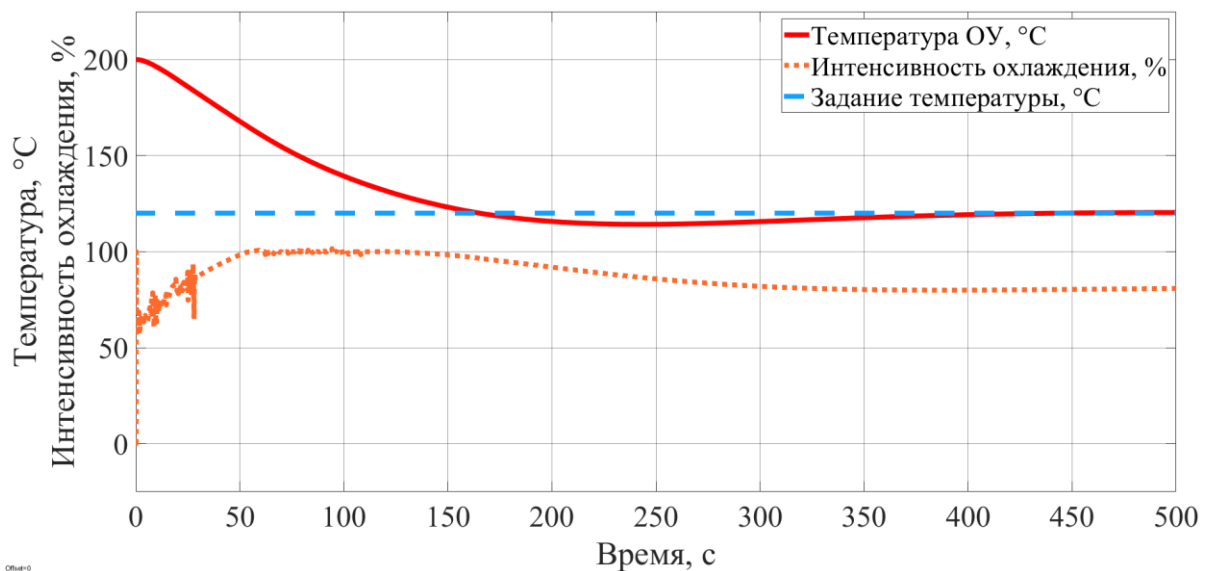


Рисунок 3.3.3.1 – Переходный процесс при настройке по методу Шубладзе

$$K_p = 0,123; K_I = 0,003151; K_D = 0,704; N = 100.$$

При настройке регулятора по методу Шубладзе наблюдаются частые колебания интенсивности охлаждения в первые 30 с процесса регулирования, к тому же получены неприемлемые показатели качества: перерегулирование на уровне 7,25%, время переходного процесса ( $t = 308$  с).

### 3.3.4 Метод Шеделя

Коэффициенты ПИД-регулятора вычисляются таким образом, чтобы обеспечить коэффициенты демпфирования системы третьего порядка  $d_0 = \sqrt{2/3}$ ,  $d_1 = 0.5$ . В методе используется аппроксимация объекта передаточной функцией третьего порядка [15]:

$$W(s) = \frac{Ke^{-sT_t}}{\prod_{i=1}^n (1 + s\tilde{T}_i)} \approx \frac{Ke^{-sT_t}}{\tilde{T}_3^3 s^3 + \tilde{T}_2^2 s^2 + \tilde{T}_1 s + 1}. \quad (3.3.4.1)$$

Затем совершается переход к форме

$$W(s) = \frac{K}{T_3^3 s^3 + T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}, \quad (3.3.4.2)$$

где

$$T_1 = \tilde{T}_1 + T_t, \quad (3.3.4.3)$$

$$T_2^2 = \tilde{T}_2^2 + \tilde{T}_1 T_t + 0.5 T_t^2, \quad (3.3.4.4)$$

$$T_3^3 = \tilde{T}_3^3 + \tilde{T}_2^2 T_t + \frac{1}{2} \tilde{T}_1 T_t^2 + \frac{1}{6} T_t^3. \quad (3.3.4.5)$$

Параметры ПИД-регулятора рассчитываются по следующим формулам:

$$T_D = \frac{T_2^2}{T_1} - \frac{T_3^3}{T_2^2}, \quad T_I = \frac{T_1^2 - T_2^2}{T_1 - T_D}, \quad K_P = \frac{0.375 T_I}{K(T_1 - T_I)}. \quad (3.3.4.6)$$

Вид переходного процесса при настройке регулятора по методу Шеделя представлен на рисунке 3.3.4.1.

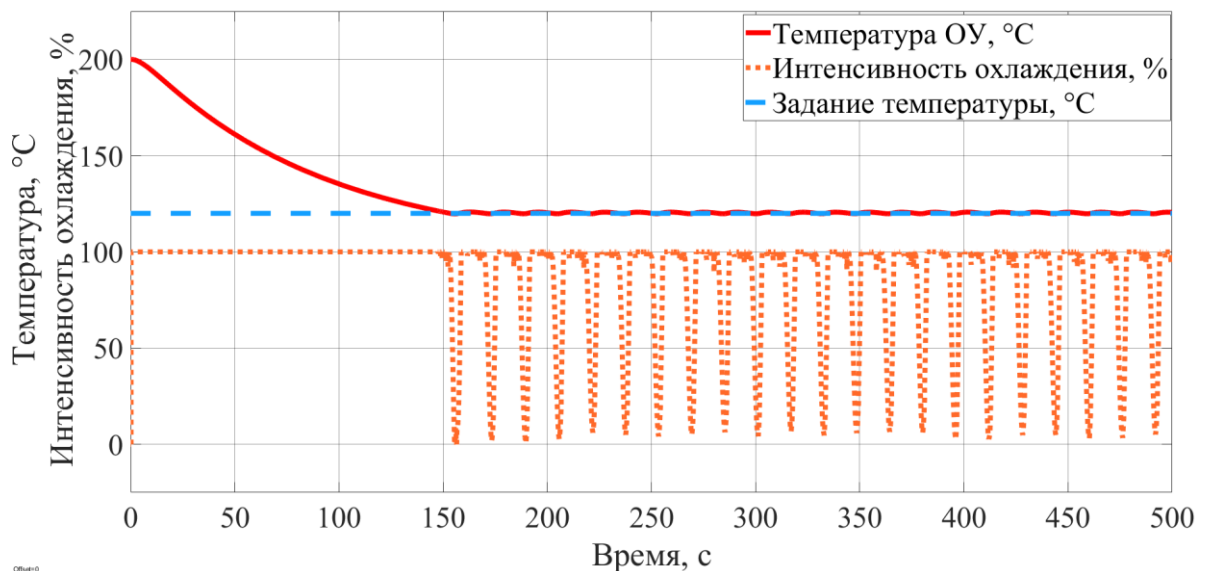


Рисунок 3.3.4.1 – Переходный процесс при настройке по методу Шеделя

$$K_p = 20,959; \quad K_I = 48,156; \quad K_D = 51,74; \quad N = 100.$$

Несмотря на то, что настройка регулятора по методу Шедела позволила обеспечить перерегулирование  $\sigma$  на уровне 0,375% и допустимое время переходного процесса ( $t = 136$  с), наблюдаются незатухающие колебания интенсивности охлаждения в диапазоне от 0 до 100%, схожие с колебаниями в п. 3.3.1., что нежелательно из-за повышенного износа оборудования.

### 3.3.5 Автоматический метод настройки MATLAB

Программный пакет MATLAB предоставляет пользователю возможность автоматической настройки ПИД-регулятора на основе желаемой формы переходной характеристики. Решено выбрать вид переходной характеристики с наименьшим временем переходного процесса при допустимом перерегулировании.

Вид переходного процесса при настройке регулятора автоматическим методом MATLAB представлен на рисунке 3.3.5.1.

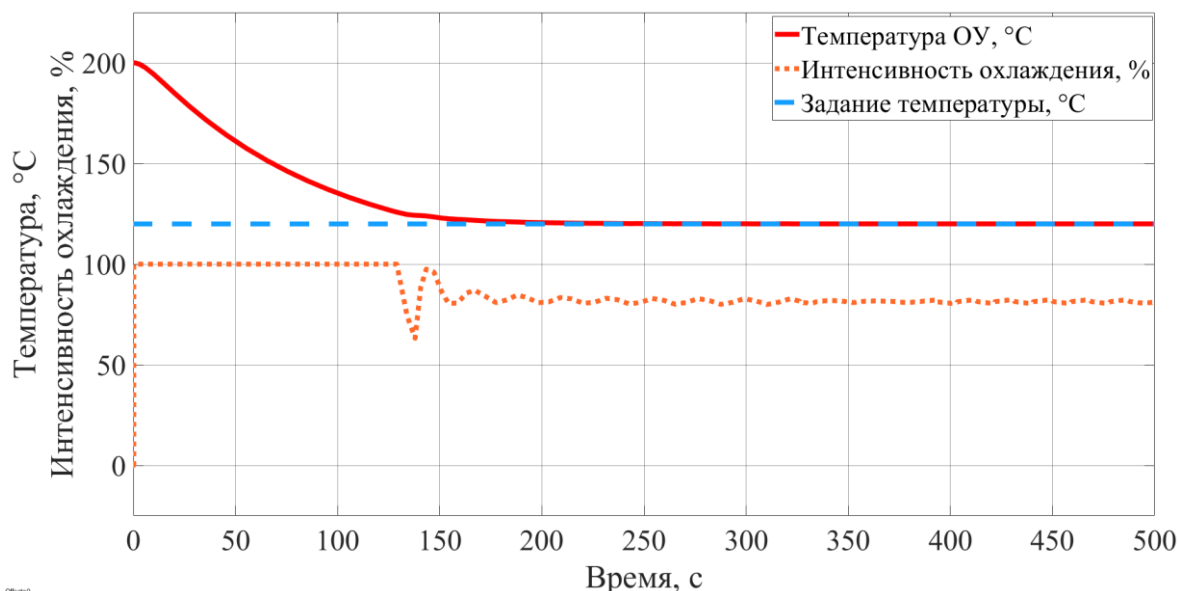


Рисунок 3.3.5.1 – Переходный процесс при настройке автоматическим методом MATLAB.  $K_p = 3,2$ ;  $K_I = 0,083$ ;  $K_D = 9,041$ ;  $N = 0,198$ .

В ходе применения рассмотренных методов настройки ПИД-регулятора было решено выбрать настроечные параметры, полученные автоматическим методом MATLAB, так как при них обеспечивается допустимое время переходного процесса ( $t = 142$  с), отсутствует перерегулирование, и колебания интенсивности охлаждения имеют приемлемую амплитуду и частоту.



## 4 НАСТРОЙКА СВЯЗИ MATLAB С ПЛК

После настройки регулятора необходимо обеспечить подключение MATLAB к ПЛК посредством OPC-сервера CODESYS. Для начала требуется создать проект в CODESYS (рисунок 4.1).

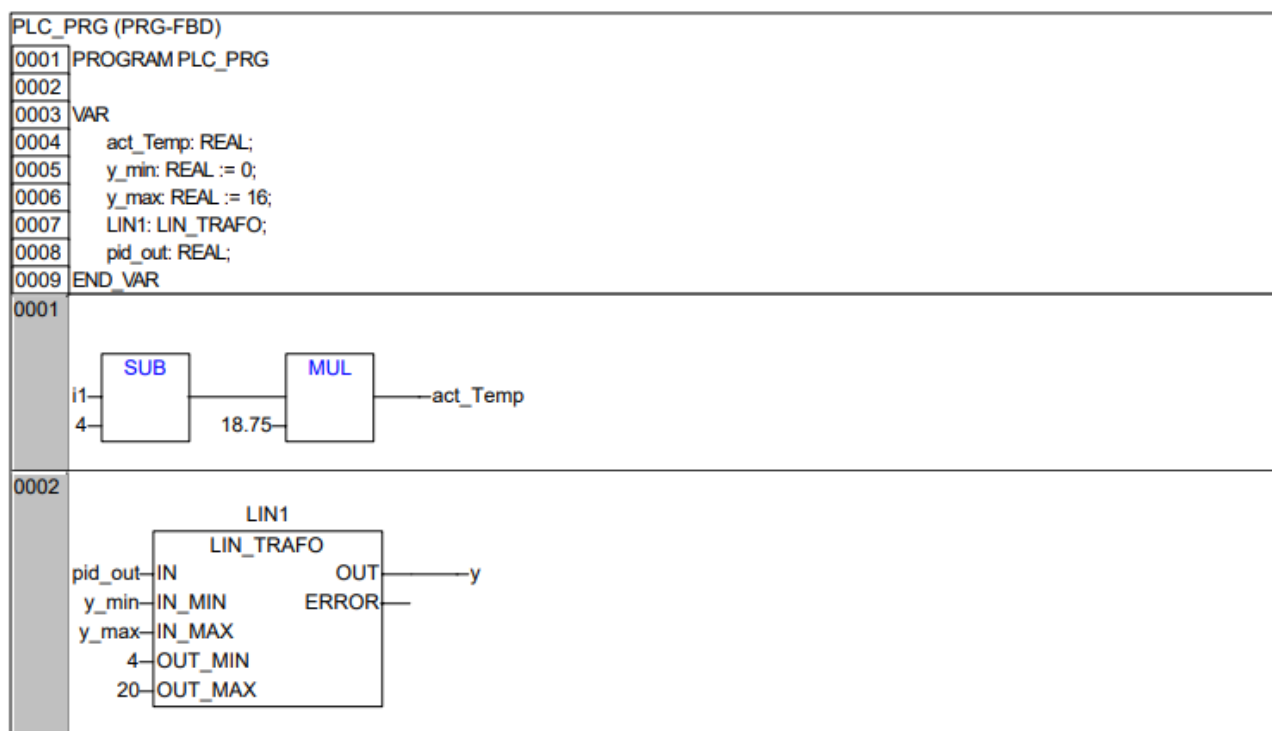


Рисунок 4.1 – Программа ПЛК

Первая строка программы на языке FBD на рисунке 4.1. отвечает за перевод значений токового сигнала от НПТ из миллиампер в градусы Цельсия. Далее значение этой переменной (актуальное значение температуры) выгружается в OPC-сервер и далее попадает в MATLAB. Вторая строка обеспечивает линейное преобразование полученного из MATLAB управляющего сигнала в диапазон унифицированного токового сигнала 4-20 мА. Значение с выхода блока LIN\_TRAFO поступает на аналоговый выход ПЛК.

Чтобы обеспечить выгрузку необходимых переменных в OPC-сервер нужно задать символьную конфигурацию проекта (рисунок 4.2), в которой выбирается программа PLC\_PRG.

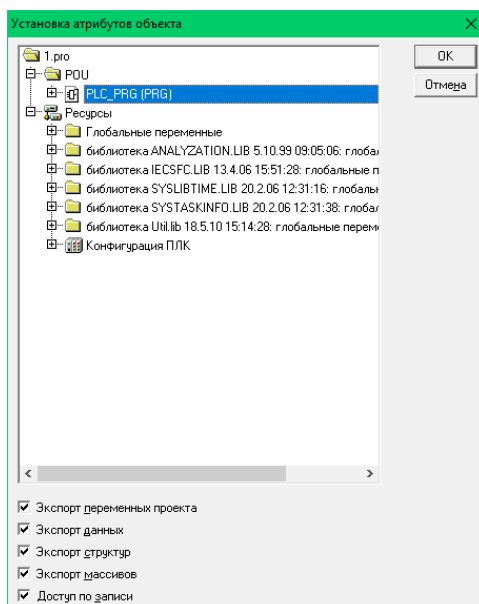


Рисунок 4.2 – Символьная конфигурация проекта в CODESYS

Далее требуется установить параметры связи с ПЛК (рисунок 4.3).

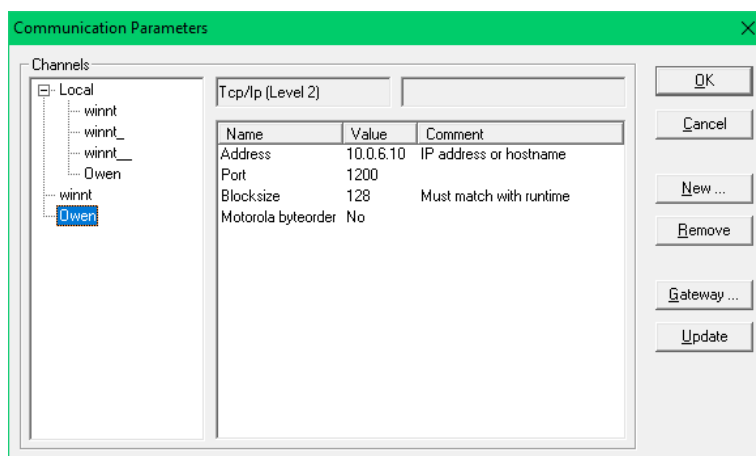


Рисунок 4.3 – Параметры связи с ПЛК

Для настройки связи с ПЛК через Ethernet необходимо подключиться к нему через отладочный порт RS-232 и выполнить конфигурацию в соответствии с руководством по эксплуатации [16].

Далее нужно настроить OPC-сервер CODESYS (рисунок 4.4).

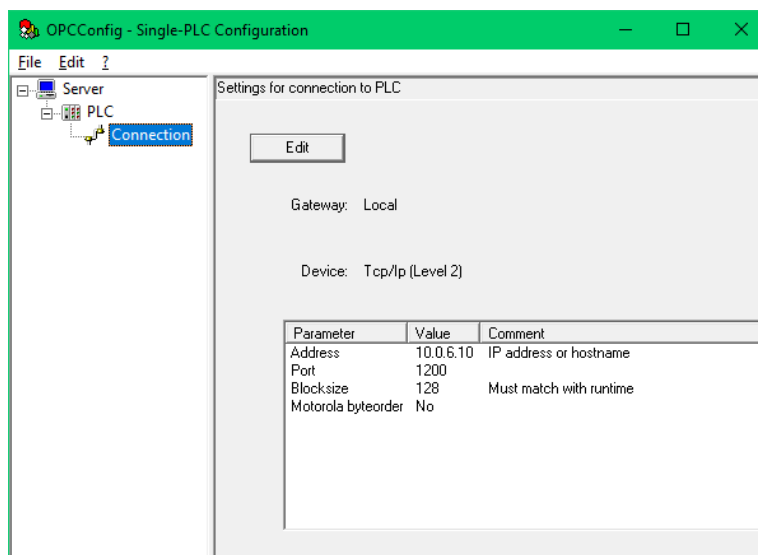


Рисунок 4.4 – Окно OPC-конфигуратора

Для обеспечения связи между ПК и ПЛК через Ethernet необходимо, чтобы устройства находились в одной подсети. Для этого выполняется конфигурация адаптера на ПК (рисунок 4.5)

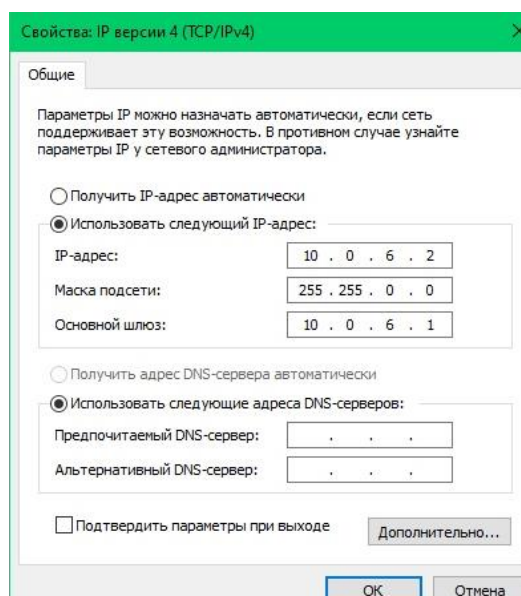


Рисунок 4.5 – Конфигурация адаптера на ПК

После конфигурации необходимо создать модель в MATLAB Simulink, в которой будет находиться блок ПИД-регулятора, а также будет осуществляться связь по OPC (рисунок 4.6).

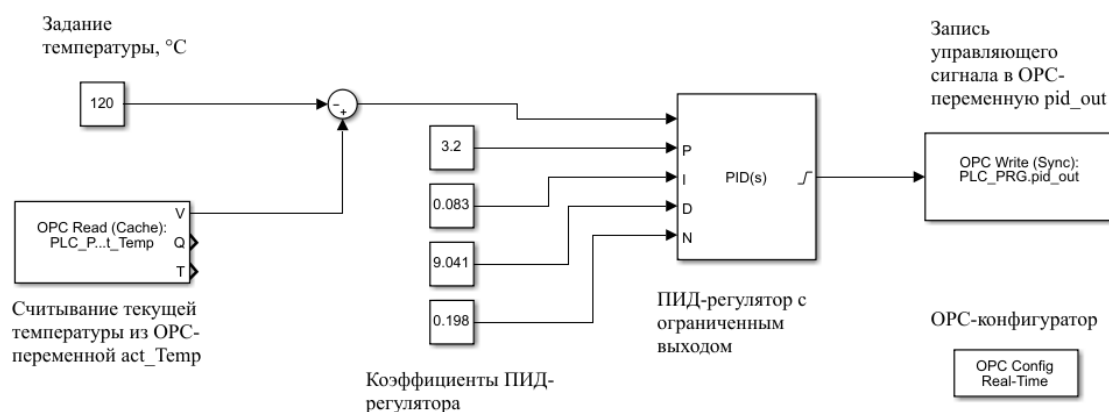


Рисунок 4.6 – Управляющая модель в Simulink

В модели на рисунке 4.6. происходит считывание текущей температуры объекта управления из OPC-переменной, вычисляется значение ошибки регулирования, блоком ПИД-регулятора вырабатывается управляющее воздействие, которое записывается в соответствующую OPC-переменную. В OPC-конфигураторе (рисунок 4.7) выбирается CODESYS OPC-сервер.

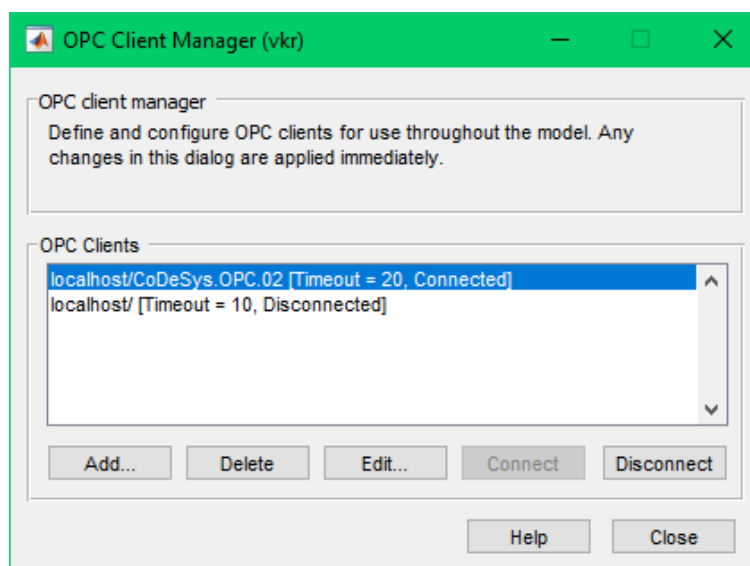


Рисунок 4.7 – OPC-конфигуратор в MATLAB Simulink

Для начала работы САР необходимо загрузить программу (рисунок 4.1) в контроллер и запустить её исполнение, далее запустить исполнение управляющей модели в Simulink, и на стенде перевести ПЧВ в режим «Авто».

## **5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Данный раздел выпускной квалификационной работы предназначен для анализа конкурентоспособности, ресурсоэффективности и расчёта бюджета проводимой разработки. Настоящая работа проводится на лабораторном стенде в лаборатории основ автоматики (ауд. 025 10 корпуса ТПУ) и предполагает исследование эффективности способа решения поставленной инженерной задачи, а именно – применения программного пакета MATLAB в качестве средства для моделирования и отладки системы автоматического регулирования температуры объекта. Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

### **5.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Объектом разработки является система автоматического регулирования температуры объекта. Потенциальными потребителями системы регулирования температуры могут выступать промышленные предприятия (производство продуктов питания, химических веществ), объекты жилищно-коммунальной сферы (котельные), лаборатории. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1 – Карта сегментирования

		Сфера использования		
		Промышленные предприятия	Объекты ЖКХ	Лаборатории
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят мелкие предприятия пищевой и химической промышленности, объекты ЖКХ, мелкие и средние лаборатории. Для использования в более крупных организациях требуется внедрить в систему поддержку промышленных сетей и настроить взаимодействие со SCADA-системами.

## **5.2 Анализ конкурентных технических решений**

На российском рынке в качестве производителей систем автоматического регулирования температуры выделяются компании «ОВЕН», «МЗТА».

Компания «ОВЕН» специализируется на изготовлении различного вида датчиков и контроллеров, в том числе и для САР температуры. Помимо поставок оборудования компания осуществляет разработку и внедрение проектов автоматизации на собственном оборудовании. Терморегуляторы компании «ОВЕН» способны производить автоматическую настройку параметров в зависимости от объекта автоматизации.

Московский завод тепловой автоматики «МЗТА» предлагает готовые решения, в частности для автоматизации котельных и тепловых узлов, на собственном программно-техническом комплексе (ПТК «Контар») и обеспечивает комплексную автоматизацию тепловых объектов.

Сравнение конкурирующих технических решений приведено в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Сравнение конкурирующих технических решений

Критерии 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>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Долговечность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Надежность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Безопасность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Точность измерений	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Быстродействие	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Доступность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>48</b>	<b>43</b>	<b>42</b>	<b>4,6</b>	<b>4,15</b>	<b>4,35</b>

По результатам расчётов таблицы 5.2.1 можно заключить, что разрабатываемая система конкурентоспособна на рынке. Разработка проигрывает аналогичным системам в удобстве: компании «ОВЕН» за счёт отсутствия возможности автоматической идентификации и настройке объекта; компании «Инсат» за счёт отсутствия взаимодействия со SCADA-системами на данном этапе разработки. К сильным сторонам можно отнести точность измерения температуры, надёжность (за счёт предварительного моделирования и возможности применения сложных алгоритмов управления), а также цену разработки (экономия за счёт переноса управляющих функций ПЛК на программный пакет MATLAB).

### 5.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ проводится для комплексной оценки внешней и внутренней среды проекта. В силу того, что разработка системы автоматического регулирования температуры является лишь частным способом применения рассмотренного подхода, при SWOT-анализе рассматриваются сильные и слабые стороны, возможности и угрозы применительно к способу решения поставленной задачи. Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны:</b>  С1. Предварительное моделирование.  С2. Возможность применения сложных алгоритмов управления.  С3. Возможность быстрого программного изменения алгоритма управления.  С4. Экономия на среднем уровне АСУ ТП за счёт переноса управляющей программы на верхний уровень (ПК).</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>  Сл1. Затраты на ПО для моделирования.  Сл2. Затраты на дополнительное обучение разработчика и/или оператора.  Сл3. Необходимость проведения идентификации перед моделированием.  Сл4. Сложность применения подхода для управления быстротекущими процессами.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Рост стоимости оборудования и, следовательно, рост цены ошибки без применения моделирования.  В2. Рост спроса со стороны ответственных и/или опасных производств.</p>	<p>В1В2С1С2.  Эффективность предварительного моделирования будет только возрастать.  В3С3. Автоматическая идентификация ускорит разработку подобных систем с применением MATLAB</p>	<p>В1В2Сл1Сл2.  Потенциальная стоимость вероятной ошибки значительно больше стоимости ПО для моделирования.  В3Сл3. При реализации автоматической идентификации указанная слабая сторона нивелируется.</p>



Продолжение таблицы 5.3.1 – Матрица SWOT-анализа

<p>В3. Разработка подсистемы автоматической идентификации В4. Использование пакета Simulink Real Time</p>		<p>В4Сл4. Simulink Real Time позволит создавать из моделей приложения реального времени для управления быстротекущими процессами</p>
<p><b>Угрозы:</b> У1. Рост спроса на адаптивные и интеллектуальные регуляторы и контроллеры. У2. Повышенные требования к безопасности данных У3. Оптимизация затрат на предприятии</p>	<p>У1С2С3. Введение адаптивной составляющей при разработке системы с использованием MATLAB позволит исследуемому подходу оставаться конкурентоспособным</p>	<p>У1Сл3. Приведёт к конкурентному отставанию, если не вводить в систему автоматическую идентификацию. У3Сл1Сл2. Возможен отказ от рассмотренного подхода.</p>

По итогам SWOT-анализа выявлены возможности для дальнейшего развития как настоящей системы автоматического регулирования, так и в целом подхода к созданию подобных систем.

1. Для противодействия угрозе У1 в систему следует ввести подсистему автоматической идентификации и автоматической настройки параметров регулятора.

2. В случае предъявления повышенных требований к безопасности данных (угроза У2) разработка может получить конкурентное отставание, так как отечественных аналогов программному пакету MATLAB не существует. В этом случае следует отказаться от использования MATLAB и перенести управляющие функции на уровень SCADA-системы (например, MasterSCADA), либо использовать более дорогие контроллеры и реализовывать сложные алгоритмы управления в них.

3. Для противодействия угрозе УЗ и сокращения затрат на разработку можно использовать более дешёвые ПЛК или сэкономить на датчике температуры в ущерб точности измерения.

## 5.4 Планирование научно-исследовательской работы

### 5.4.1 Структура работ

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа. Структура работ и распределение занятости исполнителей приведены в таблице 5.4.1.1.

Таблица 5.4.1.1 – Структура работ

Этапы работы	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР – 80% И – 20%
2. Обзор литературы	И – 100%
3. Разработка технического задания	НР – 20% К – 10% И – 70%
4. Разработка календарного плана работ	НР – 20% И – 80%
5. Идентификация объекта	И – 100%
6. Создание модели в MATLAB	И – 100%
7. Сравнительный анализ методов настройки на модели системы	И – 100%
8. Установка связи MATLAB с объектом и проведение испытаний	К – 10% И – 90%
9. Обработка полученных результатов	К – 15% И – 85%
10. Оформление расчётно-пояснительной записки	И – 100%
11. Подведение итогов	НР – 100%

## 5.4.2 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения трудоёмкости принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле [17]:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (5.4.2.1)$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.дн;

$t_{\min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн;

$t_{\max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн.

Для построения графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта длительность каждого из этапов работ в рабочих днях переводится в календарные дни по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot K_{КД}, \quad (5.4.2.2)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения работы в календарных днях;

$T_{РД}$  – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;

$K_{КД}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$K_{КД} = \frac{T_{КД}}{T_{КД} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (5.4.2.3)$$

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

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

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

Значение коэффициента календарности для 2020 года [18]:

$$K_{КД} = \frac{366}{366 - 66} = \frac{366}{300} = 1,22 . \quad (5.4.2.4)$$

С учётом данных таблицы 5.4.1.1 и приведённых выше формул составляется расчётная таблица 5.4.2.1. Диаграмма Ганта, представляющая собой календарный график работ, приведена на рисунке 5.4.2.1.

Таблица 5.4.2.1 – Расчёт трудозатрат на выполнение работ

Наименование работы	Исполнители работы	Длительность работ, дн.			Трудоёмкость работ по исполнителям, чел.дн					
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$			$T_{КД}$		
					НР	К	И	НР	К	И
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1. Постановка целей и задач исследования	НР, И	3	4	3,4	2,72	0	0,68	3,318	0	0,83
2. Обзор литературы	И	5	7	5,8	0	0	5,8	0	0	7,076
3. Разработка технического задания	НР, К, И	12	24	16,8	3,36	1,68	11,76	4,099	2,05	14,35
4. Разработка календарного плана работ	НР, И	3	6	4,2	0,84	0	3,36	1,025	0	4,1
5. Идентификация объекта	И	6	12	8,4	0	0	8,4	0	0	10,25
6. Создание модели в MATLAB	И	12	18	14,4	0	0	14,4	0	0	17,57
7. Сравнительный анализ методов настройки на модели системы	И	6	10	7,6	0	0	7,6	0	0	9,272
8. Установка связи MATLAB с объектом и проведение испытаний	К, И	6	10	7,6	0	0,76	6,84	0	0,927	8,345
9. Обработка полученных результатов	К, И	6	10	7,6	0	1,52	6,08	0	1,854	7,418
10. Оформление расчётно-пояснительной записки	И	12	18	14,4	0	0	14,4	0	0	17,57
11. Подведение итогов	НР	2	4	2,8	2,8	0	0	3,416	0	0
<b>Итого:</b>				<b>93</b>	<b>9,72</b>	<b>3,96</b>	<b>79,32</b>	<b>11,86</b>	<b>4,831</b>	<b>96,77</b>

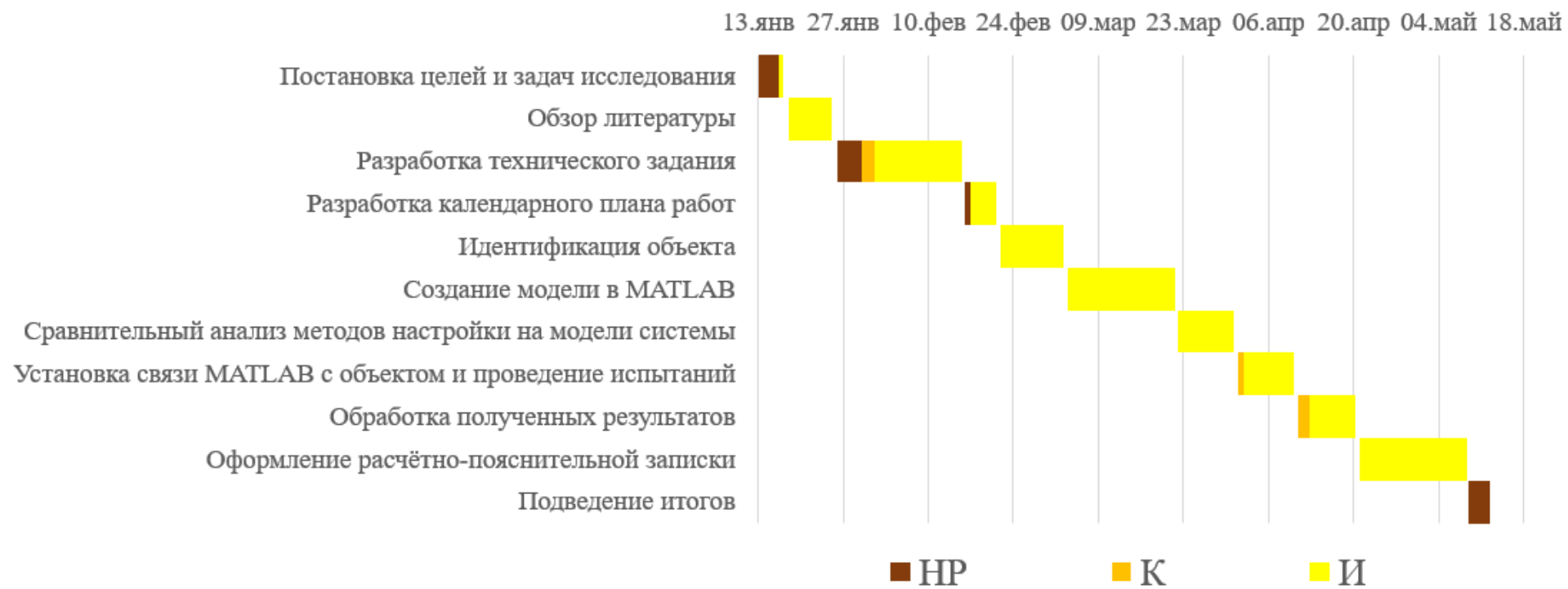


Рисунок 5.4.2.1 – Диаграмма Ганта

Из диаграммы на рисунке 5.4.2.1 видно, что практическая часть всего исследования занимает порядка двух календарных месяцев. Сравнительно большой промежуток времени на составление технического задания выделен для лучшей его проработки и исключения необходимости возвращаться к этому этапу в дальнейшем.

## **5.5 Бюджет научно-технического исследования**

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об экономической эффективности работы. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов:

- материальные затраты;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

### **5.5.1 Расчёт материальных затрат**

В этом подразделе оценивается стоимость всех материальных ценностей, непосредственно расходуемых в процессе выполнения работ.

Теоретические исследования, а также моделирование системы требуют ряд программных продуктов: Microsoft Office, Mathcad, MATLAB, CODESYS и др. Большинство из них предоставляются бесплатно для студентов ТПУ, другие находятся в свободном доступе в сети «Интернет». Таким образом, затраты на материалы включают в себя расходы на канцелярские принадлежности, кабель для подключения к контроллеру лабораторного стенда. Для исследований используется персональный компьютер с бесплатным доступом к лицензии

MATLAB. В материальные затраты также включаются транспортно-заготовительные расходы (ТЗР) в пределах от 5% до 20% от общей цены материалов. Расчёт материальных затрат приведён в таблице 5.5.1.1.

Таблица 5.5.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Сумма, руб.
Офисная бумага, упак. 500 листов	310	1	310
Тетрадь общая, 48 л.	50	1	50
Шариковая ручка	30	3	90
Патч-корд RJ-45, кат. 5е, 2м	300	1	300
<b>Итого</b>			<b>750</b>
<b>Итого с учётом ТЗР (10%)</b>			<b>825</b>

### 5.5.2 Расчёт амортизационных отчислений

Написание выпускной квалификационной работы по плану занимает 5 месяцев. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет [19]

Норма амортизации  $H_A$  рассчитывается как [20]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\% , \quad (5.5.2.1)$$

где  $T$  – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации  $H_A$ :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% . \quad (5.5.2.2)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год} = 60000 \cdot 0,33 = 19800 \text{ руб.} \quad (5.5.2.3)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:



$$A_{мес} = \frac{19800}{12} = 1650 \text{ руб.} \quad (5.5.2.4)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1650 \cdot 5 = 8250 \text{ руб.} \quad (5.5.2.5)$$

### 5.5.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды

Оклад научного руководителя (в должности доцента) составляет 33 664 рублей, оклад консультанта (в должности ассистента) – 12 664 рублей. Оклад студента (инженера) принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации, т.е. ассистента и составляет 12 664 рублей. В 2020 году с учётом 48-дневного отпуска 252 рабочих дня. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1603,05 рублей в день, для консультанта и инженера – 603,05 рублей в день.

Заработная плата включает в себя основную и дополнительную части. При этом основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{дн} \cdot T_{РД} \cdot (1 + K_{пр} + K_{д}) \cdot K_p, \quad (5.5.3.1)$$

где  $ЗП_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_{РД}$  – трудоёмкость выполнения работы в рабочих днях;

$K_{пр}$  – коэффициент премирования;

$K_{д}$  – коэффициент доплат;

$K_p$  – районный коэффициент.

Результаты расчёта основной заработной платы по формуле 5.5.3.1 приведены в таблице 5.5.3.1.

Таблица 5.5.3.1 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$ЗП_{дон}$	$K_p$	$K_{\delta}$	$K_{np}$	$T_{РД}$	$ЗП_{осн}$ , руб
Руководитель	1603,05	0,1	0,2	1,3	9,72	26332,98
Консультант	603,05	0	0,2	1,3	3,96	3725,4
Инженер	603,05	0	0,2	1,3	79,32	74620,92
<b>Итого</b>						<b>104679,3</b>

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дон} = ЗП_{осн} \cdot 0,12 , \quad (5.5.3.2)$$

где  $ЗП_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды в соответствии с Налоговым кодексом РФ рассчитываются по формуле:

$$ЗП_{внеб} = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot 0,302 , \quad (5.5.3.3)$$

где  $ЗП_{осн}$  – основная заработная плата, руб;

$ЗП_{дон}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Результаты расчётов по формулам 5.5.3.2 и 5.5.3.3 приведены в таблице 5.5.3.2.

Таблица 5.5.3.2 – Расчёт дополнительной заработной платы и отчислений

Исполнители	$ЗП_{дон}$	$ЗП_{внеб}$
Руководитель	3159,96	8847,88
Консультант	447,5	1251,73
Инженер	8954,51	25072,63
<b>Итого</b>	<b>12561,97</b>	<b>35172,24</b>

Накладные расходы принимаются в размере 10% от величины всех остальных расходов.

#### 5.5.4 Расчёт общей себестоимости

Расчитанные в пунктах 5.5.1-5.5.3 расходы сведены в таблицу 5.5.4.1.

Таблица 5.5.4.1 – Суммарные расходы

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	825	0,464
Затраты на амортизацию	8250	4,64
Основная заработная плата	104679,3	58,93
Дополнительная заработная плата	12561,97	7,07
Страховые взносы	35172,24	19,8
Накладные расходы	16148,85	9,09
<b>Итого</b>	<b>177637,36</b>	<b>100</b>

В ходе подсчёта затрат на разработку проекта выявлено, что основная часть (63%) средств расходуется на заработную плату исполнителей.

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

Эффективность разработки сравнивается аналогичными системами:

1. Система на основе программируемого логического контроллера «ОВЕН ПЛК 160» производства компании «ОВЕН» общей стоимостью 197152,98 руб.

2. Система на основе ПТК Контар (ПЛК «МС 12.3») производства «МЗТА» общей стоимостью 185441,11 руб.

Эффективность разработки определяется путём расчёта интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (5.6.1)$$

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

$\Phi_i$  – стоимость i-ого варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения проекта (зависит от сложности АСУ).

$$I_{фин} = \frac{177637,36}{197152,98} = 0,901 , \quad (5.6.2)$$

$$I_{фин}^1 = \frac{197152,98}{197152,98} = 1 , \quad (5.6.3)$$

$$I_{фин}^2 = \frac{185441,11}{197152,98} = 0,941 , \quad (5.6.4)$$

Сравнительная оценка ресурсоэффективности рассматриваемых аналогов приведена в таблице 5.6.1.

Таблица 5.6.1 – Сравнительная оценка ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Ресурсоэффективность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Долговечность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Безопасность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Точность измерений	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Быстродействие	0,05	5	4	4	0,25	0,25	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>3,95</b>	<b>4,1</b>	<b>3,8</b>

Интегральный показатель эффективности разработки  $I^i$  вычисляется на основании рассчитанных выше интегрального финансового показателя  $I_{фин}^i$  (5.6.2 – 5.6.4) и показателя ресурсоэффективности  $I_p^i$  (таблица 5.6.1):

$$I^i = \frac{I_p^i}{I_{фин}^i} . \quad (5.6.5)$$

Для разрабатываемой системы:

$$I = \frac{3,95}{0,901} = 4,384 . \quad (5.6.6)$$

Для рассматриваемых аналогов:

$$I^1 = \frac{4,1}{1} = 4,1 , \quad (5.6.7)$$

$$I^2 = \frac{3,8}{0,941} = 4,038. \quad (5.6.8)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы и рассматриваемых аналогов рассчитывается как:

$$\mathcal{E} = \frac{I}{I^i}, \quad (5.6.9)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы с аналогами приведена в таблице 5.6.2.

Таблица 5.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог №1	Аналог №2
1	Интегральный финансовый показатель $I_{фин}$	0,901	1	0,941
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности $I_p$	3,95	4,1	3,8
3	Интегральный показатель эффективности $I$	4,384	4,1	4,038
4	Сравнительная эффективность $\mathcal{E}$ разработки к аналогам		1,069	1,086

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что разрабатываемая система автоматического регулирования температуры хотя и уступает аналогу №1 по ресурсоэффективности, однако превосходит его по интегральному показателю эффективности за счёт меньшей стоимости разработки.

### **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В данном разделе оценены экономические аспекты исследуемого подхода к построению системы автоматического регулирования температуры:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена на небольших предприятиях пищевой,

химической промышленности, объектах ЖКХ, а также в лабораториях (см. подраздел 5.1).

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Выявлено два конкурента: компания «ОВЕН» и Московский завод тепловой автоматики («МЗТА»). Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкурентам по удобству использования (см. подраздел 5.2), однако выигрывает за счёт применения программного пакета MATLAB, позволяя применять математическое моделирование и сложные алгоритмы управления в совокупности со сравнительно дешёвым ПЛК.

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: рост спроса на адаптивные и интеллектуальные системы; повышенные требования к безопасности; оптимизация затрат на предприятии. Возможные пути снижения влияния выявленных угроз представлены в подразделе 5.3.

4. Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 104679,3 руб. (58,93%), дополнительная – 12561,97 руб. (7,07%). На втором месте страховые взносы – 35172,24 руб. (19,8%). Затем идут накладные расходы – 16148,85 руб. (9,09%). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 8250 руб. (4,64%) и на материальные затраты – 825 руб. (0,464%). Общий бюджет разработки составил 177637,36 руб. При этом запланированная продолжительность работы составляет 114 дней.

5. В подразделе 5.6 оценена экономическая эффективность разработки. Разрабатываемая система уступает аналогу №1 по ресурсоэффективности в виду меньшего удобства эксплуатации на данном этапе, однако по сравнительному показателю эффективности разработка превосходит аналогичные системы за счёт меньшей стоимости. Экономия достигается за счёт использования менее производительного ПЛК, позволяя перенести управляющие функции на программный пакет MATLAB.

В целом, эффективность исследуемого подхода предварительного моделирования системы в каждом конкретном случае можно оценить исходя из вероятных затрат на восстановление работоспособности объекта при ошибке разработчика или оператора системы автоматического регулирования (зачастую стоимость промышленных систем составляет сотни тысяч, а иногда и миллионы рублей).

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В данном разделе рассматриваются правовые и организационные аспекты обеспечения безопасности персонала, а также опасности и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при проведении исследования и использовании его результатов, чтобы обеспечить соблюдение законодательства в сфере охраны труда и сохранения здоровья людей. Научно-исследовательская работа проводится в лаборатории основ автоматике (025 ауд. 10 корпуса НИ ТПУ) на лабораторном стенде, содержащем программируемый логический контроллер, преобразователь частоты, нагреватель, охлаждающий вентилятор, соединительные провода, автоматические выключатели и другое оборудование. Дополнительно к перечисленному используется персональный компьютер. При разработке используется подход предварительного компьютерного моделирования с использованием программного пакета MATLAB. На модели выполняется настройка регулятора, которая затем переносится на ПЛК стенда. Потенциальными пользователями системы автоматического регулирования могут выступать промышленные предприятия, в которых система будет настраиваться инженерами АСУ ТП, специалистами КиПиА и затем использоваться операторами технологического процесса. Предварительное компьютерное моделирование, рассматриваемое в настоящей работе, может применяться как в производственных условиях на предприятиях и в проектных организациях, так и в лабораторных условиях учебных заведений. Предварительное компьютерное моделирование системы автоматического регулирования позволяет отработать варианты регуляторов до внедрения на реальном объекте, тем самым уменьшить вероятность ошибки разработчика, сократить возможные затраты на восстановление оборудования и снизить вероятность возникновения ЧС на производстве.



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

### **6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Нормальная продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю. Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. Работодатель обязан вести учёт времени, фактически отработанного работником (ст. 91 ТК РФ [21]). В течение рабочего дня работодатель должен предоставлять работнику перерыв для отдыха и питания – не менее 30 минут и не более 2 часов (ст. 108 ТК РФ [21]). Защита персональных данных обеспечивается статьями 86 – 90 ТК РФ и направлена на обеспечение прав и свобод человека и гражданина согласно Конституции РФ. Обработка персональных данных может выполняться исключительно в целях соблюдения действующего законодательства. При этом защита персональных данных от их неправомерного использования обеспечивается работодателем за счёт его средств [21]. Работодатель обязан обеспечить безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений и оборудования, при осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов. В обязанности работодателя также входит обеспечение обязательного социального страхования работников от профессиональных заболеваний и несчастных случаев на производстве (ст. 212 ТК РФ [21]).

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

Рабочее место как разработчика, так и оператора системы автоматического регулирования практически всегда содержит один или несколько видеотерминалов (дисплеев); работа выполняется в положении сидя,



Д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы. В этой зоне размещается клавиатура.

Обозначенные выше, а также другие требования, представленные в [22 – 24] способствуют созданию благоприятных условий труда. Их соблюдение повышает привлекательность труда и, как следствие его производительность.

## 6.2 Профессиональная социальная безопасность

### 6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов при проведении исследования

Охрана труда на объекте не может быть обеспечена без анализа опасных и вредных факторов, которые могут повлиять на персонал в процессе работы. Перечень анализируемых факторов представлен в таблице 6.2.1 [25].

Таблица 6.2.1 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ)	Этапы работ			Нормативные документы
	Моделирование	Настройка системы	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [26]. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [27]. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [28]. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [29]. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. [30]
2. Повышенный уровень шума		+	+	
3. Недостаток естественного освещения и недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	
4. Электромагнитные излучения	+	+	+	

Продолжение таблицы 6.2.1 – Возможные вредные и опасные факторы

5. Электрический ток		+		ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. [31] ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействий механических факторов. [32]. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих [33].
6. Подвижные части производственного оборудования		+	+	
7. Чрезмерно высокая температура материальных объектов производственной среды		+	+	

Обозначенные в таблице 6.2.1 факторы могут повлиять на состояние здоровья разработчика и оператора, поэтому необходимо обеспечить контроль за соблюдением требований к параметрам этих факторов, чтобы минимизировать возможность наступления травмоопасной или аварийной ситуации.

### **6.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

#### **Отклонение показателей микроклимата**

К важным показателям микроклимата рабочей зоны относятся температура, влажность, а также скорость движения воздуха. Эти три фактора взаимосвязано воздействуют на теплообмен организма. Нарушение теплообмена может привести к гипертермии. Работа разработчика и оператора системы автоматического регулирования относятся к работам, производимым сидя и не требующим систематического физического напряжения. Это позволяет отнести её к категории Ia, согласно СанПиН 2.2.4.548-96. В таблице 6.2.2.1 приведены оптимальные показатели микроклимата рабочей зоны для указанной категории работ [26].

Таблица 6.2.2.1 – Оптимальные показатели микроклимата (категория Ia)

Период года	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	22 – 24	40 – 60	0,1
Тёплый	23 – 25	40 – 60	0,1

Если по техническим, технологическим и иным причинам не могут быть обеспечены оптимальные показатели, устанавливаются допустимые микроклиматические условия (таблица 6.2.2.2), рассчитанные на восьмичасовую рабочую смену.

Таблица 6.2.2.2 – Допустимые показатели микроклимата (категория Ia)

Период года	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	20 – 25	15 – 75	0,1
Тёплый	21 – 28	15 – 75	0,1 – 0,2

Для обеспечения норм параметров микроклимата в производственных помещениях применяют общеобменную вентиляцию, а также, при необходимости, системы кондиционирования. В холодное время года используются системы центрального отопления. Радиаторы отопления размещают в нишах и закрывают решётками. Температура поверхности радиаторов не должна превышать 95 °С.

### **Повышенный уровень шума**

В условиях производства имеют место шумы, различающиеся по интенсивности и частотному спектру. Шум может привести к нарушениям слуха, а при длительном воздействии является фактором стресса, снижающим производительность труда работника. Для исследуемой системы автоматического регулирования источниками шумов являются преобразователь

частоты и охлаждающий вентилятор. В таблице 6.2.2.3 приведены предельно допустимые уровни постоянного шума для объекта, согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [27] и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [34].

Таблица 6.2.2.3 – Нормированные уровни звукового давления

Вид работы	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Моделирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Настройка	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Эксплуатация	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Для оценки соблюдения предельных уровней шума необходимо проводить производственный контроль. Если уровни превышаются, необходимо обеспечить соответствующие мероприятия по защите от воздействия шума. К таким относятся: защита временем, защита расстоянием, экранирование, использование средств индивидуальной защиты, таких как противошумные вкладыши, наушники, шлемы и каски [34].

### **Недостаточная освещённость**

В работе разработчика и оператора АСУ ТП постоянно используется персональная ЭВМ, а также иное оборудование, которое при длительном использовании вызывает повышенное напряжение глаз. В случае недостатка естественного освещения необходимо обеспечить дополнительное искусственное освещение рабочей зоны. Нормы освещения для рабочего места разработчика и оператора АСУ ТП для производственных помещений согласно СНиП 23-05-95 представлены в таблице 6.2.2.4 [28].

Таблица 6.2.2.4 – Норма освещённости

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		КЕО, % при боковом
			Освещённость при системе общего освещения	Коэффициент пульсации, %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

Согласно нормам СНиП 23-05-95 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, освещённость поверхности стола в зоне размещения рабочей документации должна быть в пределах 300-500 лк, освещённость поверхности экрана – не более 300 лк. Блесткость источников света на экране не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup>. Для обеспечения показателей яркости для внутренней отделки помещений следует использовать диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для пола 0,3-0,5; для стен – 0,5-0,6; для потолка 0,7-0,8 [28].

### **Электромагнитные излучения**

Электромагнитные поля (ЭМП) от линий электропередач, устройств автоматики относятся к ЭМП промышленной частоты. Высокая опасность для человека обуславливает необходимость их нормирования. Длительное действие таких полей приводит к снижению работоспособности, расстройствам сна и памяти, головным и сердечным болям, нарушениям центральной нервной системы [35]. Нормы параметров ЭМП, создаваемых персональными ЭВМ приведены в таблице 6.2.2.5 [29].

Таблица 6.2.2.5 – Временные допустимые ЭМП, создаваемые персональными ЭВМ

Параметр		Допустимые значения
Напряжённость электрического поля	Частотой 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Частотой 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Частотой 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Частотой 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электрический потенциал экрана видеотерминала		500 В

Для оценки соблюдения уровней ЭМП необходимо проводить производственный контроль (измерения). В случае превышения уровней проводятся организационные мероприятия. К таким относятся: защита временем, защита расстоянием, замена оборудования, экранирование, использование средств индивидуальной защиты – индивидуальных экранирующих комплектов [29].

### Электрический ток

Воздействие электрического тока на организм человека зависит от совокупности следующих факторов: вида тока (постоянный или переменный), напряжения, силы тока, а также времени воздействия. При прохождении через тело человека электрический ток производит следующие действия [35]:

- термическое (ожоги, перегрев внутренних органов);
- электролитическое (разложение органических жидкостей);
- механическое (расслоение, разрыв тканей);
- биологическое (нарушение нормального течения внутренних процессов, сокращение мышц, остановка сердца).

Опасность воздействия электрического тока увеличивается во влажных помещениях, при работе без заземления. Согласно ПУЭ рабочее место разработчика системы автоматического регулирования при компьютерном моделировании, а также оператора АСУ ТП относится к помещениям без повышенной опасности [37]. Повышенной опасности персонал подвергается при



сборке системы и подключении оборудования. К основным мероприятиям по защите от поражения электрическим током можно отнести: применение средств индивидуальной защиты (диэлектрические перчатки, обувь, рукоятки; изолирующие покрытия и подставки); защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, ограничение доступа к токоведущим поверхностям и частям оборудования. Для обеспечения оптимальной защиты описанные технические способы и средства применяют как отдельно, так и совместно.

### **Механические воздействия**

Источником возможных механических повреждений (удар, порезы) в системе выступает вентилятор. К средствам защиты работников от механических повреждений в [32] относят заградительные и блокировочные устройства. На лабораторном стенде вентилятор отнесён на безопасное расстояние от рабочего места. При этом непосредственного контакта с работающим механизмом на всех этапах работы не происходит. В случае попадания под удар механизм необходимо обесточить автоматическим выключателем на стенде.

### **Высокая температура поверхностей оборудования**

Источником повышенной температуры на лабораторном стенде выступает нагреватель (см. раздел 2.1.1). К средствам защиты работников от повышенных температур поверхностей в [33] относят оградительные и термоизолирующие устройства. На лабораторном стенде нагреватель отнесён на безопасное расстояние от рабочего места и помещён в пластиковый кожух. При этом непосредственного контакта нагревателем на всех этапах работы не происходит. В случае получения ожога следует охладить обожжённое место проточной водой в течение 10-15 минут, при необходимости использовать средство первой помощи при ожогах и обратиться к врачу.

## **6.3 Экологическая безопасность**

### **6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Разработка системы автоматического регулирования температуры проводится на лабораторном стенде, содержащем помимо ПК следующее оборудование: программируемый логический контроллер, преобразователь частоты, нагреватель и термосопротивление, вентилятор (асинхронный двигатель), соединительные провода, клеммы, автоматические выключатели и другое оборудование. Система потребляет электроэнергию в процессе своей работы. Вредное воздействие на окружающую среду при этом напрямую зависит от состояния и развития энергетики, так как она определяет уровень потребления (в том числе ископаемого) топлива и является источником загрязнения воздуха, воды, земной поверхности и её недр. Помимо косвенного влияния через потребление энергии следует отметить прямое влияние объекта исследования на окружающую среду после окончания жизненного цикла, т.е. образование твёрдых отходов в виде отработанного оборудования, его компонентов.

### **6.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Первым этапом переработки электронных отходов является их разбор, разделение на исправные и неисправные компоненты. Исправные могут быть вновь проданы с учётом оставшегося ресурса. Неисправные компоненты, содержащие металлические и неметаллические части, подвергаются измельчению и последующей сепарации. Металлические фракции могут быть переплавлены и использованы повторно. Для коммерческого использования неметаллических фракций необходимо подвергнуть их химической переработке (пиролиз, газификация) для превращения в химическое сырьё или топливо. Особое внимание уделяется переработке печатных плат, как одним из наиболее вредных для окружающей среды отходов. В результате переработки неметаллических фракций получают строительные и отделочные материалы, композитные плиты [38]. Таким образом, развитие технологий в сфере

энергосбережения, альтернативной энергетики, переработке электронных отходов напрямую способствует сохранению окружающей среды.

## **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Чрезвычайной ситуацией, согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016, называют обстановку на определённой территории, имеющую место в результате аварии, катастрофы и т. п. и повлекшую за собой гибель людей, ущерб здоровью или окружающей среде, нарушение жизнедеятельности людей и/или значительные материальные потери [39].

В силу того, что работа ведётся с электрооборудованием, для исследуемого объекта наиболее вероятными ЧС являются пожар и короткое замыкание.

### **6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Лабораторный стенд и ПК питаются от сети переменного напряжения 220 В. Для предупреждения короткого замыкания используются автоматические выключатели, защитное заземление, изоляция контактов, токоведущих частей и проводов стенда.

В случае возникновения короткого замыкания будут произведены следующие действия:

1. Немедленное аварийное отключение лабораторного стенда.
2. Обесточивание всей лаборатории.

Согласно «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» [40] помещение относится к категории В, т.е. содержит горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и

материалы (в т. ч. пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

К противопожарным организационно-техническим мероприятиям относятся [35]: оборудование помещения средствами тушения пожара, автоматической пожарной сигнализацией и средствами связи; регулярная проверка электрической проводки освещения и электрооборудования; обязательный инструктаж по технике безопасности и действиях в случае пожара в производственном помещении (лаборатории); обязательное отключение оборудования при покидании рабочего места.

В случае возникновения пожара или его признаков: задымления, запаха горения, тления материалов, повышения температуры необходимо следовать установленным на объекте правилам пожарной безопасности.

### **Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

Таким образом, в разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены нормы законодательства, относящиеся к разработке системы автоматического регулирования температуры.

Проанализированы опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при проведении этапов работы: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень шума, недостаточный уровень освещённости, электромагнитные поля, воздействие электрического тока; даны обоснования мер по уменьшению влияния этих факторов.

Рассмотрен характер воздействия объекта исследования на окружающую среду. Выявлено прямое влияние в виде промышленных отходов и косвенное влияние через потребление электроэнергии. Описаны мероприятия по утилизации отходов.

Произведён анализ возможных чрезвычайных ситуаций при разработке и эксплуатации объекта. Описаны превентивные меры, а также порядок действий при возникновении ЧС. Результаты работы по данному разделу могут быть использованы при внедрении подобных систем на производстве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы проведена разработка системы автоматического регулирования температуры на базе контроллера «ОВЕН ПЛК 150». В качестве средства для отладки среднего уровня САР температуры использовался программный пакет MATLAB.

С помощью MATLAB выполнена идентификация объекта управления – получены передаточные функции по управлению и возмущению.

В MATLAB Simulink разработана модель САР. В качестве регулятора решено использовать широко применяющийся в промышленности ПИД-регулятор. На модели САР проведён сравнительный анализ методов настройки регулятора. Получено, что наилучшие показатели качества переходного процесса обеспечивает ПИД-регулятор с коэффициентами, рассчитанными автоматическим методом MATLAB.

Для проведения испытаний на лабораторном стенде в MATLAB Simulink разработана управляющая модель, в которой выполняется чтение и запись OPC-переменных, вычисление ошибки регулирования и формирование управляющего воздействия. Для обеспечения передачи сигналов между управляющей моделью и оборудованием стенда для контроллера написана программа на языке FBD, преобразующая значения токового сигнала от термосопротивления в значения температуры, а также проведена конфигурация OPC-сервера CODESYS.

Таким образом, широкие возможности программного пакета MATLAB и среды разработки CODESYS использованы на всех этапах разработки САР. В ходе работы применены теоретические знания и практические навыки, предусмотренные основной образовательной программой. Проведена необходимая подготовка к натурным испытаниям системы автоматического регулирования температуры.

## CONCLUSION

The work involved the development of an automatic temperature control system based on the “OWEN PLC 150” controller. The MATLAB software package was used as a tool for development and debugging the middle level of the automatic temperature control system.

Using MATLAB the control object was identified – transfer functions from the input to the output and from disturbance to the output are obtained.

In MATLAB Simulink temperature ACS model was developed. As a regulator, it was decided to use a PID controller widely used in industrial automation. On the ACS model the comparative analysis of PID controller tuning methods has been carried out. It was found that the best transient quality indicators are provided by a PID controller with the coefficients calculated by the MATLAB automatic method.

For the testing at the laboratory bench, MATLAB Simulink model is developed in which OPC variables are read and written, regulation error is calculated, and control action is generated. To provide signal transmission between the control model and the bench equipment, the FBD program for the controller was written. It converts current signal from the thermal resistance to temperature values. Also the CODESYS OPC-server was configured.

Thus, the wide features of the MATLAB software package and the CODESYS IDE are used at all stages of the development of the temperature ACS. As a result of the work, theoretical knowledge and practical skills provided by the main educational program were applied. The necessary preparation for field tests of the automatic temperature control system has been carried out.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловые объекты управления. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://prommatika.ru/staty/115-teplovieobekty>, свободный (дата обращения: 15.02.2020).
2. Казаков А. В. Основы автоматики и автоматизации химических процессов. М.: Машиностроение, 1970. 376 с.
3. Шляйхнер М. Техника автоматического регулирования для практиков. М., 2006. 124 с.
4. Датчик температуры 100 П. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://architecturalengineering.ru/blog/admin/datchik-temperature-100p>, свободный (дата обращения 15.02.2020).
5. Why CODESYS? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.CODESYS.com/the-system/why-CODESYS.html>, свободный (дата обращения 17.02.2020).
6. What is OPC? [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> (свободный, дата обращения: 15.02.2020).
7. Simulink. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://matlab.ru/products/Simulink>, свободный (дата обращения 17.02.2020).
8. System Identification Toolbox. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://matlab.ru/products/system-identification-toolbox>, свободный (дата обращения 17.02.2020).
9. OPC Toolbox. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://matlab.ru/products/opc-toolbox>, свободный (дата обращения 17.02.2020).



10. Дилигенская А. Н. Идентификация объектов управления. Самара, 2009. – 136 с.
11. Воронин А. В. Моделирование мехатронных систем. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2008. – 137 с.
12. Douglas, B. Understanding PID Control. Курс лекций. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLn8PRpmsu08pQBgixYFXSsODEF3Jqmm-y>, свободный (дата обращения 24.02.2020).
13. Skogestad, S. Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning. Journal of Process Control 13 (2003) p. 291-309 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://instruct.uwo.ca/engine-sc/391b/MFILES/es512\\_420/PIDtuning.pdf](https://instruct.uwo.ca/engine-sc/391b/MFILES/es512_420/PIDtuning.pdf), свободный (дата обращения 27.02.2020).
14. Die T-Summen-Einstellregel-Regel nach KUNH für PI(D)-Regler [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.control-technology.de/ct/tsumreg.html>, свободный (дата обращения 28.02.2020).
15. Воронин А. В. Теория автоматического управления. Проектирование и исследование системы управления динамическим объектом: учебно-методическое пособие. Томский Политехнический Университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2014. – 82 с.
16. ПЛК 150. Контроллер программируемый логический. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.owen.ru/uploads/rie\\_plk150\\_982.pdf](https://www.owen.ru/uploads/rie_plk150_982.pdf), свободный (дата обращения: 01.03.2020).
17. Абрамов С. Б. Организация производственной деятельности: учебное пособие. – Нижний Новгород, 2009. – 95 с.

18. Производственный календарь на 2020 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/calendar/buhpravo/>, свободный (дата обращения: 15.04.2020).
19. ОКОФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://okof2.ru/330.28.23.23>, свободный (дата обращения: 15.04.2020).
20. Борисова Л. М., Дукарт С. А. Экономика предприятия: учебное пособие. Томский Политехнический Университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2011. – 63 с.
21. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/), свободный (дата обращения 15.04.2019)
22. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. –М: ИПК ИС, 2001. – 90 с.
23. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М: ИПК ИС, 2001. – 39 с.
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Минздрав России, 2003. – 54 с.
25. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М. ИПК ИС, 2015 – 15 с.
26. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 2001. – 20 с.

27. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартиформ, 2015. – 28 с.
28. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – М.: ИПК ИС, 2016. – 106 с.
29. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. – М.: Минздрав СССР, 1986. – 9 с.
30. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стандартиформ, 2016. – 102 с.
31. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: ИПК ИС, 2001. – 13 с.
32. ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействий механических факторов. – М.: ИПК ИС, 2001. – 4 с.
33. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих – М.: ИПК ИС, 2004. – 8 с.
34. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. – М.: ИПК ИС, 2008. – 10 с.
35. С.В. Белов. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность). / учебник. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 680 с.
36. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/2306278/>, свободный (дата обращения 25.04.2020).
37. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98464/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/), свободный (дата обращения 25.04.2020).

38. Переработка электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nature-time.ru/2015/03/kak-osushhestvlyaetsya-pererabotka-elektroniki/>, свободный (дата обращения 25.04.2020).

39. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200139176>, свободный (дата обращения 25.04.2020).

40. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/), свободный (дата обращения 25.04.2020).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Обязательное)

### Сравнительная таблица методов настройки ПИД-регулятора

№	Метод	Kp	Ki	Kd	N	$\sigma$ , %	t, с
1	Стогестада	2,231	3,873	11,956	100	0,875	136
2	Куна, «быстрый»	0,02	0,000273	0,368	100	0	1740
3	Шубладзе	0,123	0,003151	0,704	100	7,25	308
4	Шеделя	20,959	48,156	51,74	100	0,375	136
5	Автоматический MATLAB	3,2	0,083	9,041	0,198	0	142