



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»
ООП «Автоматизация технологических процессов в нефтегазовой отрасли»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Программно-методическое обеспечение лабораторной работы «Система автоматического регулирования температуры на базе программно-технического комплекса Контар»

УДК 681.536.5:621.3.049.77

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Неволина Елена Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов Магеррам Али Оглы	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман Алёна Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович	к.т.н., доцент		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления

Код компетенции	Наименование компетенции
	процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и

Код компетенции	Наименование компетенции
	управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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 школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

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

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т92	Неволина Елена Сергеевна

Тема работы:

Программно-методическое обеспечение лабораторной работы «Система автоматического регулирования температуры на базе программно-технического комплекса Контар»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-90/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Промышленный контроллер КОНТАР-МС8; система автоматического регулирования по ПИД-закону; датчик температуры ТСМ 50М; программное обеспечение на базе пакетов КОНГРАФ и КОНСОЛЬ; число входных дискретных сигналов: 4; выходных дискретных сигналов: 8; аналоговых входных сигналов: 8. Блок управления симисторами и тиристорами.</p>
---	--

<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Разработка структурной и функциональной схем лабораторного стенда, схемы внешних соединений. Настройка регулятора. Разработка методических указания по выполнению лабораторной работы. Создание программы ПИД регулирования на базе ПТК КОНТАР.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Функциональная схема системы контроля и регулирования. 2. Структурная схема лабораторного стенда. 3. Схема внешних соединений. 4. Программа реализации регулятора. 5. Кривая переходного процесса САР температуры. 6. Структурная схема САР. 7. Методические указания по выполнению лабораторной работы.</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор ОСГН, д.э.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Неволина Елена Сергеевна		03.02.2023



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 (ООП)– 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
Уровень образования – Бакалавриат
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т92	Неволина Елена Сергеевна

Тема работы:

Программно-методическое обеспечение лабораторной работы «Система автоматического регулирования температуры на базе программно-технического комплекса Контар»
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2023 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2023 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
30.05.2023 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		03.02.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович	к.т.н., доцент		03.02.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Неволина Елена Сергеевна		03.02.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 130 с., 73 рис., 39 табл., 26 источников, 3 прил.

Ключевые слова: лабораторный стенд, ПТК КОНТАР, промышленный контроллер, КОНТАР-МС8.301, программно-методические указания.

Объектом исследования является лабораторный стенд, реализующий систему автоматического регулирования температуры на базе ПТК КОНТАР.

Цель работы – модернизация лабораторного стенда и разработка программно-методического обеспечения.

В процессе исследования проводились работы по модернизации лабораторного стенда и наладке аппаратной части, разработке структурной и функциональной схем лабораторного стенда, также проводилось математическое моделирование системы автоматического регулирования и разработка программно-методического обеспечения лабораторной работы.

В результате исследования были разработаны программное обеспечение, реализующее автоматическое регулирование температуры, и методические указания для выполнения лабораторной работы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: лабораторный стенд выполнен в отдельном конструктиве с габаритными размерами 50x30 см. Лабораторный стенд позволяет исследовать САР температуры в диапазоне от 20 до 70 градусов.

Степень внедрения: аппаратная и методическая часть лабораторного стенда готовы к работе и будут введены в эксплуатацию в сентябре 2023 года

Область применения: данная система может применяться для обучения студентов высших учебных заведений.

В будущем планируется создание SCADA системы для возможности визуализации технического процесса и управления его параметрами, а также разработка методических указаний.

Оглавление

Введение.....	13
Обозначения и сокращения	14
1 Программно-технический комплекс КОНТАР	15
1.1 Аппаратная часть	15
1.1.1 Технические характеристики	16
1.1.2 Функциональные возможности	18
1.1.3 Функциональная схема контроллера МС8.301	18
1.2 Программная часть	19
1.2.1 Программа КОНГРАФ.....	20
1.2.2 Программа КОНСОЛЬ.....	21
1.2.3 КОНТАР АРМ	22
1.2.4 КОНТАР SCADA	22
2 Описание лабораторного стенда	23
2.1 Состав лабораторного стенда	23
2.1.1 Блок управления симисторами и тиристорами	24
2.2 Структурная схема лабораторного стенда	26
2.3 Функциональная схема лабораторного стенда.....	27
2.4 Схема внешних соединений	28
3 Разработка программы регулирования.....	29
4 Математическая модель САР	34
4.1 Структурная схема САР.....	34
4.2 Расчет параметров объекта управления	35
4.3 Определение параметров регулятора	38
4.3.1 Настройка регулятора методом Циглера-Никольса	39
4.3.2 Настройка регулятора формульным методом.....	44
4.3.3 Корректировка параметров регулятора	47
5 Методические указания к выполнению лабораторной работы	50
5.1 Структура методических указаний.....	50
5.2 Краткое описание методических указаний.....	51

6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	55
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений	56
6.1.3	SWOT-анализ	57
6.2	Планирование научно-исследовательских работ	60
6.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	60
6.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	61
6.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	65
6.3.1	Расчет материальных затрат НТИ	65
6.3.2	Расчет затрат на специально оборудование для научных работа .	66
6.3.3	Основная заработная плата	67
6.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	69
6.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды	69
6.3.6	Накладные расходы.....	70
6.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского	70
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	71
6.5	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	75
7	Социальная ответственность.....	78
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	79
7.2	Производственная безопасность	79
7.2.1	Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	81

7.2.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды	82
7.2.3 Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	83
7.2.4 Повышенный уровень шума	84
7.2.5 Производственные факторы, связанные с электрическим током .	85
7.3 Экологическая безопасность	86
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
7.4.1 Безопасность в ЧС природного характера.....	87
7.4.2 Пожарная безопасность	88
7.5 Выводы по разделу по разделу «Социальная ответственность»	90
Заключение	91
Список литературы	92
Приложение А (обязательное) Функциональная схема	95
Приложение Б (обязательное) Схема внешних соединений.....	96
Приложения В (обязательное) Методическое обеспечение лабораторной работы	97

Введение

Автоматизация систем управления в современном мире являются неотъемлемой частью производств. Для контроля управления технологическим процессом используются автоматизированные системы, построенные на базе современных программно-технических комплексов, реализующих функции контроля, регистрации и управления технологическим процессом.

В настоящее время при разработке систем автоматизации технологических процессов всё чаще используют отечественное оборудование и программно-технические комплексы. Получение практических навыков работы с данными комплексами является важной задачей в процессе обучения студентов.

Данная работа посвящена разработке программно-методического обеспечения лабораторной работы «Система автоматического регулирования температуры на базе программно-технического комплекса КОНТАР».

Основной целью работы является разработка методических указаний для лабораторной работы, которая позволит студентам познакомиться с отечественным промышленным контроллером МС8.301, входящего в состав ПТК КОНТАР, и получить навыки разработки программ управления технологическим процессом на примере программы регулирования температуры.

Обозначения и сокращения

В данной работе применяются следующие обозначения и сокращения:

ПТК – программно-технический комплекс;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление и сбор данных);

БУСТ – блок управления симисторами и тиристорами;

ТСМ – термометр сопротивления медный;

САР – система автоматического регулирования;

ОУ – объект управления;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

ТО – тепловой объект;

ОЭЭО – отработавшее электротехническое и электронное оборудование.

1 Программно-технический комплекс КОНТАР

Программно-технический комплекс (ПТК) КОНТАР является специализированным решением для автоматизации управления технологическими процессами в сфере жилищно-коммунального хозяйства и промышленности. Он предназначен для сбора, обработки, хранения и передачи данных о состоянии оборудования и параметров технологических процессов, а также для удаленного управления этими процессами через интернет или локальную сеть [1].

ПТК включает в себя свободно программируемый логический контроллер, программное обеспечение и средства конфигурирования. Возможна интеграция с системами автоматизации других производителей. Свободно программируемый контроллер помогает решать широкий спектр задач, от контроля параметров оборудования до полной автоматизации, включая распределённые объекты.

1.1 Аппаратная часть

Аппаратная часть ПТК КОНТАР состоит из программируемых логических контроллеров МС8 и МС12. Контроллер производит сбор информации от различных источников, передает полученную информацию на верхний уровень, осуществляет автоматическое регулирование параметров. Контроллеры могут быть использованы как в сети приборов КОНТАР, так и автономно [2].

В данной лабораторной работе используется контроллер КОНТАР-МС8.301. Внешний вид контроллера представлен на рисунке 1.

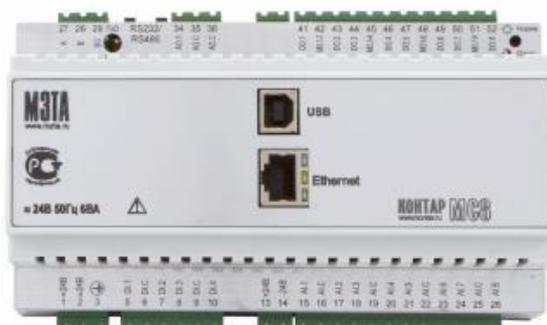


Рисунок 1 – Внешний вид КОНТАР-МС8.301

1.1.1 Технические характеристики

В таблице 1 представлены основные технические характеристики контроллера МС8.301 и их описание.

Таблица 1 – Технические характеристики МС8.301

Характеристики	Описание
Условия эксплуатации	<ul style="list-style-type: none">– Температура воздуха – 0-50 °С.– Относительная влажность – не более 80%.– Атмосферное давление – 86-106,7 кПА.
Питание	<ul style="list-style-type: none">– Напряжение – 24 В постоянного тока (допускается 11-36 В) или 24 В переменного тока с частотой 50 Гц (допускается 12-28 В).– Потребляемая мощность – не более 7 ВА.
Конструктивное исполнение	<ul style="list-style-type: none">– Масса – не более 0.8 кг.– Монтаж на DIN-рейку 35 мм.– Подключение внешних соединений:<ul style="list-style-type: none">– 41 клемма под винт;– разъем RJ-45 для подключения Ethernet;– разъем RJ-11 для подключения интерфейса RS232;– разъем RJ-12 для подключения интерфейса RS232 либо RS485;– разъем USB для подключения к ПК.
Индикация	<ul style="list-style-type: none">– Светодиод статуса контроллера "Норма/Отказ". Постоянное свечение – при нормальной работе, мигание – при отказе, а также при загрузке и отключении алгоритма.– Светодиоды "RS485-прием", "RS485-передача".
Источник постоянного тока	<ul style="list-style-type: none">– Напряжение – 24 В.– Допускаемое отклонение – от 22 до 25.5 В.– Ток нагрузки – не более 80 мА.
Память	<ul style="list-style-type: none">– Для алгоритма и его описания, постоянная – 44 Кбайт.– Для планировщика, постоянная – 3 Кбайт.– Для архивирования, постоянная – 30 Кбайт.– Для хранения вычисляемых параметров, энергонезависимая – 56 байт (не менее 300 часов).

Входы и выхода контроллера, а также подключаемые устройства представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики каналов ввода/вывода

Каналы	Количество входов/выходов	Входной/выходной сигнал и подключаемые устройства
Дискретные входы	4	Требования к внешнему ключу: – Рабочее напряжение – не менее 5 В. – Коммутируемый постоянный ток – не менее 10 мА. – Ток утечки – не более 0.05 мА. – Частота коммутации – не более 300 Гц.
Аналоговые входы	8	– Датчики с выходным сигналом постоянного напряжения (0-2400 мВ, 0-10 В). – Датчики с выходным сигналом постоянного тока (0-20 мА, 4-20 мА). – Термопреобразователи сопротивления (50М, 100М, 50П, 100П, 500П, 1000П, 50Pt, 500Pt, 1000Pt, Ni1000, 100Н, 1000Н). – Термисторы (3к (В25/100=3990), 10к-2 (В25/100=3990 или В25/100=3980), 10к-3 (В25/100=3715), ТАС EGWS 1.8 ком).
Дискретные выходы	8	– Тип выхода – "сухой транзисторный ключ" – Максимальное напряжение – 48 В постоянного тока. – Коммутируемый ток – от 0.01 до 0.15 А постоянного тока. – Падение напряжения на открытом ключе – не более 1.2 В.
Аналоговые выходы	2	Диапазон сигнала: – 0(4)-20 мА постоянного тока на нагрузку не более 0.5 кОм. – 0-5 мА постоянного тока на нагрузку не более 2 кОм. – 0-10 В постоянного тока на нагрузку не менее 2 кОм.

1.1.2 Функциональные возможности

Контроллер МС8.301 имеет следующие функциональные возможности:

- Измерение сигналов, поступающих от аналоговых и дискретных датчиков технологических параметров.
- Формирование дискретных и аналоговых выходных сигналов для управления исполнительным оборудованием.
- Реализацию алгоритмов функционирования, необходимых для управления конкретными технологическими процессами.
- Архивирование событий во внутренней памяти контроллера.
- Контроль и изменение значений параметров с помощью встроенного или внешнего пульта управления или персонального компьютера (ПК).
- Автоматическое изменение параметров с помощью планировщика.
- Формирование, хранение и передача аварийных сигналов.
- Поддержка различных видов интерфейсной связи:
 - RS485 для объединения в сеть с другими приборами КОНТАР;
 - RS232 или RS485 (на выбор);
 - RS232/USB/Ethernet (в зависимости от исполнения) для наладки и диспетчеризации.
- Обеспечение функций приборов приемно-контрольных охранно-пожарных и приборов пожарных управления в системах газового, порошкового и аэрозольного пожаротушения, а также в системах противодымной защиты зданий и сооружений согласно НПБ 75-98.

1.1.3 Функциональная схема контроллера МС8.301

Схема ПЛК МС8.301 представлена на рисунке 2.

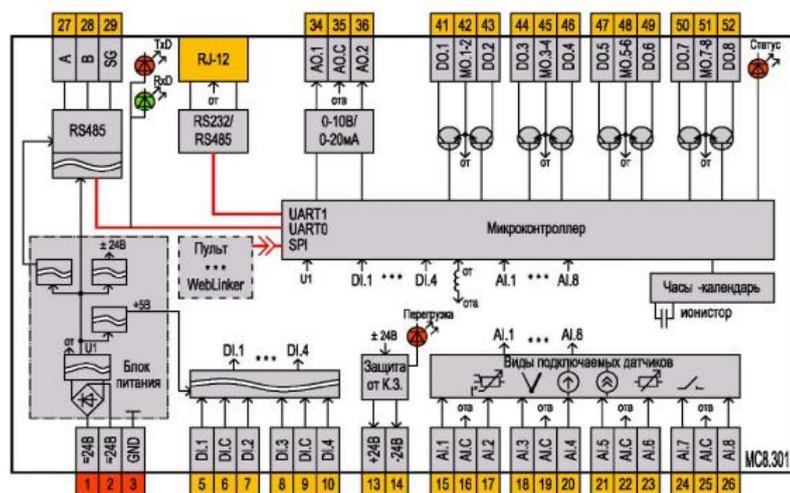


Рисунок 2 – Функциональная схема контроллера КОНТАР-МС8.301

На функциональной схеме используются следующие обозначения:

- Узлы, показанные пунктиром, являются переменными данными.
- АС – общая точка аналоговая.
- ДС – общая точка цифровая.
- АI – аналоговый вход.
- АО – аналоговый выход.
- АI.С – общая точка аналоговых входов.
- АО.С – общая точка аналоговых выходов.
- DI – дискретный вход.
- DO – дискретный выход.
- DI.С – общая точка дискретных входов.
- MO.j-k – средняя точка между DO.j и DO.k.

1.2 Программная часть

В состав программного обеспечения ПТК КОНТР входят следующие инструменты:

- КОНГРАФ – это среда разработки, которая используется для создания программ для контроллера;
- КОНСОЛЬ – это программа для управления работой контроллера или сети контроллеров в режиме реального времени;

- КОНТАР АРМ – программа, представляющая станцию оператора для локального мониторинга за процессом и диспетчеризации;
- SCADA – программа для удаленной диспетчеризации процесса;
- Дополнительное ПО.

1.2.1 Программа КОНГРАФ

КОНГРАФ – это программное обеспечение для разработки алгоритмов управления. С его помощью вы можете создавать проекты для нескольких контроллеров, используя язык функциональных диаграмм и встроенную библиотеку функций. После компиляции и создания исполняемого файла он загружается в контроллер и запускается на выполнение. Таким образом, КОНГРАФ предоставляет возможность отладить алгоритм перед установкой его в контроллер для повышения надежности и эффективности системы управления.

Внешний вид основного интерфейса представлен на рисунке 3.

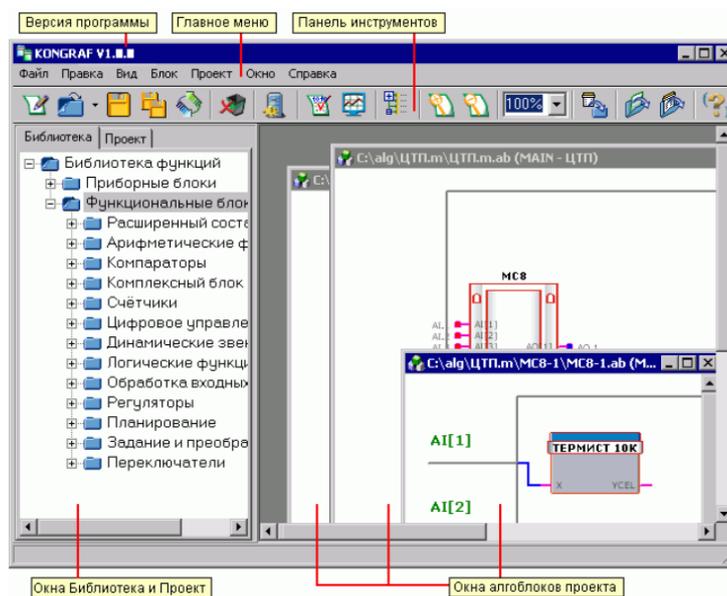


Рисунок 3 – Внешний вид среды КОНГРАФ

Элементы интерфейса включают в себя следующие разделы.

1. Главное меню – содержит основные функции и настройки приложения, такие как "Файл", "Редактировать", "Вид" и т.д.

2. Панель инструментов – позволяет быстро получить доступ к часто используемым функциям, таким как "Сохранить", "Отменить", "Копировать" и т.д. Обычно расположена в верхней части окна.

3. Окна алгоблоков – позволяют разрабатывать алгоритмы для алгоблоков, которые могут содержать различные функции и переменные. Эти окна могут содержать как визуальное представление алгоблока, так и его код.

4. Окно «Проекты» – отображает список ранее созданных проектов в папке проектов и используется для выбора нужного проекта. Окно автоматически закрывается после выбора проекта или его открытия.

5. Окно «Библиотека» – содержит библиотеку функций с доступными стандартными и пользовательскими алгоритмическими блоками. Окно открывается только после создания проекта или выбора существующего.

6. Окно «Проект» – отображает структуру проекта с использованием алгоритмических блоков, за исключением первичных функциональных блоков. Окно становится доступным после создания проекта и выбора определенного блока.

7. Контекстное меню – вызывается при нажатии правой кнопки мыши на объекте и содержит доступные опции для данного объекта.

1.2.2 Программа КОНСОЛЬ

КОНСОЛЬ – это программа для настройки и управления контроллером КОНТАР, который может быть подключен к компьютеру через интерфейс RS232, USB или Ethernet.

Программа позволяет управлять всеми входными и выходными сигналами, устанавливать новые значения параметров, переключать выходы в ручной режим и программировать действия контроллера. Программа также позволяет контролировать ошибки, текущее время и дату, загружать новый функциональный алгоритм и управлять временными диаграммами изменений параметров.

1.2.3 КОНТАР АРМ

Система КОНТАР АРМ – это набор программных средств, предназначенных для автоматизации работы диспетчеров на крупных объектах. Он состоит из двух частей: сервера и клиентского приложения, которые могут запускаться на одном компьютере.

Используя SCADA-систему на базе системы КОНТАР АРМ возможно круглосуточно отслеживать состояние объектов и получать информацию о них. АРМ обладает рядом функций, таких как создание мнемонических обозначений объектов, изменение их параметров, работа с расписанием, просмотр графиков значений в режиме реального времени и архивирование данных с заданной периодичностью. Кроме того, КОНТАР АРМ может строить графики из архивных данных и уведомлять пользователей о возможных аварийных ситуациях. Программа также позволяет создать пользовательскую библиотеку элементов для дальнейшей разработки проектов.

1.2.4 КОНТАР SCADA

КОНТАР SCADA – это диспетчерская система для ПТК КОНТАР, которая установлена на сервере и доступна всем пользователям. Любой пользователь может получить доступ к этой системе, чтобы создать свой собственный проект. Для работы с системой SCADA не требуется никаких специальных программ, достаточно обычного интернет-браузера. Система идеально подходит для управления удаленными системами, которые не требуют регулярного технического обслуживания.

SCADA обладает рядом функций, таких как создание имитирующих объектов, мониторинг и изменение параметров, планирование, графическое отображение значений параметров в реальном времени, архивирование параметров и периодическая отправка данных по электронной почте в формате Excel. Также можно создавать графики параметров из архива и уведомлять пользователей о сбоях на объекте путем отправки SMS и/или электронной почты.

2 Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд обеспечивает непрерывное регулирование температуры. Он позволяет получить навыки работы с ПТК КОНТАР, познакомиться с режимами работы контроллера, способами задания параметров регулятора и видами графического представления информации о работе системы регулирования, а также изучить организацию ввода и вывода сигналов.

2.1 Состав лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят:

- контроллер КОНТАР-МС8.301;
- блок питания;
- датчик температуры (ТСМ 50М);
- нагревательный элемент (лампа накаливания);
- вентилятор;
- блок управления симисторами и тиристорами (БУСТ);
- устройство сигнализации.

Для подключения компьютера используется интерфейс USB. Персональный компьютер используется для создания и передачи на контроллер управляющих программ, а также управления процессом с помощью приложения КОНСОЛЬ или КОНТАР АРМ.

Внешний вид стенда представлен на рисунке 4.

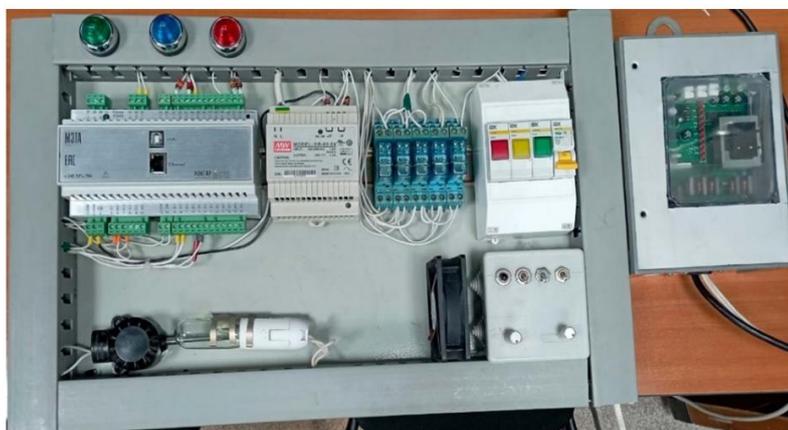


Рисунок 4 – Внешний вид стенда

Наиболее сложными средствами, входящими в состав лабораторного стенда, являются компьютер, контроллер и блок управления симисторами и тиристорами.

2.1.1 Блок управления симисторами и тиристорами

Блок управления симисторами и тиристорами (БУСТ) регулирует мощность активной нагрузки. Его можно использовать для управления различными электрическими устройствами, такими как электронагреватели, кондиционеры, электродвигатели и т.д. [3].

БУСТ имеет следующие функциональные возможности:

- автоматическое регулирование мощности активной нагрузки с помощью сигналов управления 0(4)-20 мА, 0-5 мА, 0-10 В, поступающих от регулятора;
- ручное регулирование мощности с помощью внешнего переменного резистора 10 кОм;
- два метода управления симисторами или тиристорами, в зависимости от инерционности нагрузки и уровня помех в сети;
- защита силовых тиристорov или симисторов при возникновении аварийных ситуаций: короткого замыкания или превышения номинального тока в нагрузке (с использованием внешних трансформаторов тока);
- плавный выход на заданный уровень мощности для предотвращения резких перегрузок питающей сети;
- светодиодная индикация уровня мощности (10 уровней от 0 до 100 процентов);
- возможность внешней блокировки управления нагрузкой;
- работа с одно-, двух- и трехфазной нагрузкой.

В данном лабораторном стенде БУСТ с помощью тиристорov управляет напряжением на тепловом объекте. Он подключен ко второму аналоговому выходу контроллера. Питание блока – 220 В.

В настоящей работе в качестве входного сигнала, определяющего величину тока, протекающего по нагревательному элементу, выбран сигнал в

виде напряжения, меняющийся в диапазоне от 0 до 10 В. В программе КОНСОЛЬ в режиме ручного управления данный сигнал представлен в виде процента. Сигналу величиной 10 В соответствуют 100 процентов.

Внешний вид блока представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид БУСТА

Для задания режима работы предназначены переключки S1...S6. Назначение переключек приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Назначение переключек

Переключка	Назначение	Установлена	Снята
S1	Метод регулирования	По числу полупериодов	Фазовый
S2	Скорость выхода на уставку	Мгновенная (0 сек.)	Плавная (5 сек.)
S3	Режим работы	Работа	Установка уровня
S4	Фаза «В»	Используется	Не используется
S5	Фаза «С»	Используется	Не используется
S6	Вход управления	4-20 мА	Все остальные

Расположение переключек S1...S6 представлено на схеме платы (рисунок 6).

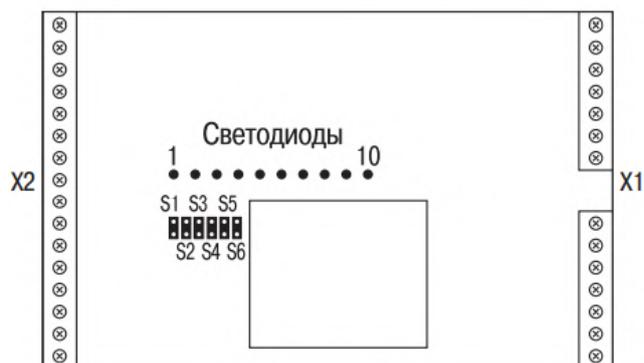


Рисунок 6 – Вид платы

Так как для работы использовалась одна фаза «А», то были установлены переключки S1 и S3.

Схема подключения приведена на рисунке 7.

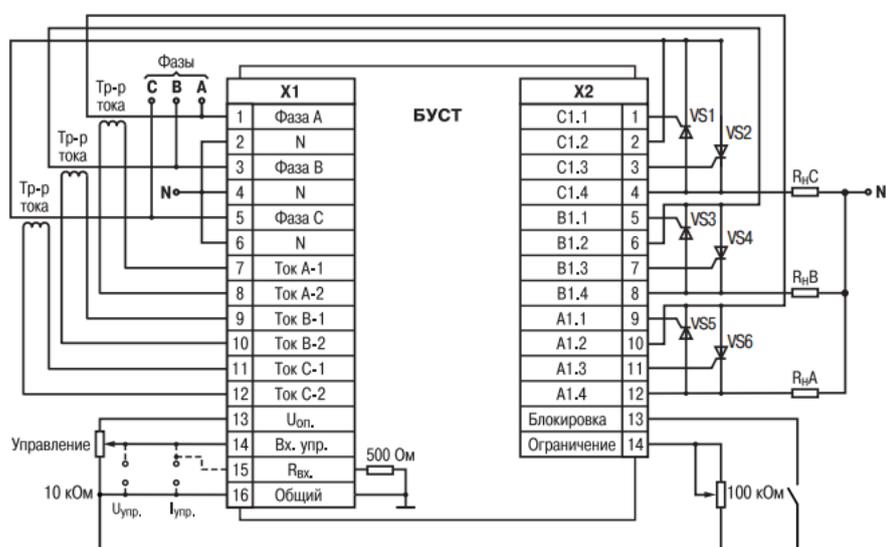


Рисунок 7 – Схема подключения

2.2 Структурная схема лабораторного стенда

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи [4]. На рисунке 8 представлена структурная схема стенда, которая разделена на следующие уровни:

– Нижний уровень включает в себя ПЛК, датчик температуры, тепловой объект (лампа накаливания), БУСТ, охлаждающий элемент (вентилятор) и устройство сигнализации. На данном уровне происходит измерение параметров технологического процесса, сбор и передача информации на верхний уровень, сигнализация, а также автоматическое управление и регулирование.

– Верхний уровень состоит из компьютера, выполняющего функции АРМ: сбор и обработку данных с контроллера, а также предоставление интерфейса для управления параметрами технологического процесса.

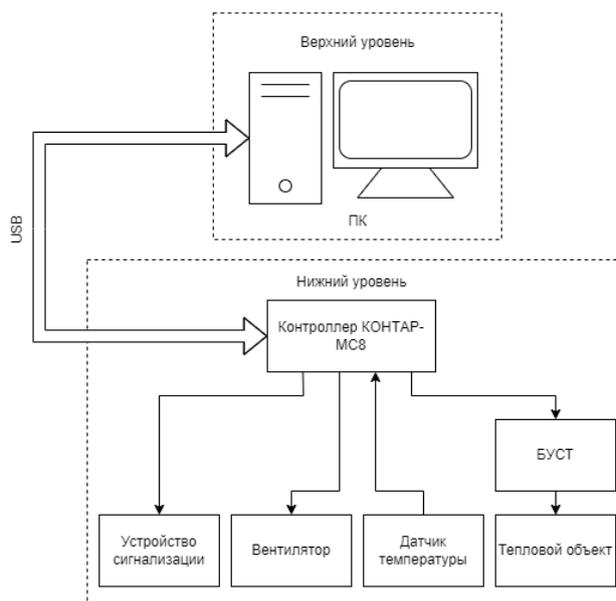


Рисунок 8 – Структурная схема лабораторного стенда

2.3 Функциональная схема лабораторного стенда

Функциональная схема автоматизации – это технический документ, описывающий функционально-блочную структуру узлов для мониторинга, управления и управления технологическим процессом в автоматическом режиме. Она используется для отображения технических решений, которые были приняты при проектировании автоматизированных систем управления технологическими процессами [5].

Функциональная схема автоматизации лабораторного стенда приведена в приложении А. На приведенной схеме через ТО обозначен тепловой объект. Температура данного объекта измеряется с помощью первичного преобразователя температуры ТЕ, в качестве которого используется датчик температуры ТСМ 50М. Сигнал с теросопротивления подается на аналоговый вход контроллера МС8.301. Далее, в контроллере вырабатывается управляющее воздействие, которое подается с аналогового выхода контроллера на блок управления симисторами и тиристорами, обозначенный на схеме ТУ. Выходной сигнал БУСТ, представленный в виде

тока, подается на тепловой объект в качестве управляющего воздействия для изменения температуры.

При недостоверности информации, вводимой в контроллер, предусмотрена сигнализация, которая обозначается на функциональной схеме ТА. Также существует сигнализация, реагирующая на выход значения температуры за заданные пороги. Сигналы на устройство сигнализации поступают с дискретного выхода контроллера.

Также в лабораторном стенде присутствует охлаждающее устройство (вентилятор), сигнал на который поступает с дискретного выхода контроллера.

Через интерфейс USB предусмотрена связь контроллера с верхним уровнем, на котором происходит мониторинг температуры и параметров системы регулирования, а также задание уставки и параметров регулятора, уровней сигнализации и постоянной времени фильтра.

2.4 Схема внешних соединений

На схеме внешних соединений приведены электрические соединения между устройствами лабораторного стенда.

На источник питания DR-60-24 поступает напряжение 220 В. Питание в 24 В с данного источника поступает на контроллер МС8.301, а также на реле, необходимое для коммутации вентилятора и устройства сигнализации. С дискретных выходов контроллера на реле поступают сигналы, осуществляющие включение или выключение вентилятора и ламп сигнализации.

На аналоговый вход контроллера поступает сигнал с датчика температуры ТСМ 50М. С аналогового выхода контроллера на БУСТ поступает управляющее воздействие на тепловой объект напряжением 0-10 В. На БУСТ поступает напряжение 220 В, которое через тиристоры поступает на тепловой объект.

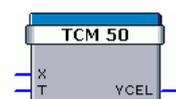
Схема внешних соединений представлена в приложение Б.

3 Разработка программы регулирования

Средой разработки программного обеспечения в ПТК КОНТАР является программа КОНГРАФ. В данной среде создаются алгоритмы автоматического управления технологическими параметрами.

Программа автоматического регулирования температуры теплового объекта (лампы накаливания) содержит в себе следующие алгоритмы: первичную обработку информации, сигнализацию и автоматическое регулирование параметра процесса.

Измерение температуры происходит с помощью термометра сопротивления ТСМ 50. В системе регулирования температуры он подключается к аналоговым входам AI[1] и AI[2]. Внешний вид и параметры алгоблока приведены на рисунке 9.



Параметры

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Входное напряжение, мВ
T	Вход	аналог.	Температура окружающей среды, °C
RC	Вход	аналог.	Сопротивление линии при калибровке, Ом
TC	Вход	аналог.	Температура окружающей среды при калибровке, °C
B	Вход	аналог.	Температурный коэффициент проводимости, 1/°C
YCEL	Выход	аналог.	Измеренная температура, °C
YFAR	Выход	аналог.	Измеренная температура, °F

Рисунок 9 – Внешний вид и параметры алгоблока ТСМ 50

Для обеспечения первичной обработки информации необходимо провести фильтрацию сигнала и проверить на достоверность по пороговым значениям и скорости изменения сигнала. Измеренное значение температуры поступает в блок ФИЛЬТР (рисунок 10).



Параметры

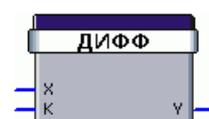
Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Вход
TF	Вход	аналог.	Постоянная времени фильтра, сек
Y	Выход	аналог.	Выход

Рисунок 10 – Параметры алгоблока Фильтр

Данный блок выполняет функцию выделения полезного сигнала и описывается апериодическим звеном первого порядка. Постоянная времени фильтра равна 10 секунд.

Для проверки информации на достоверность текущее значение температуры сравнивается с максимально и минимально возможными значениями. Для этого используются алгоблоки БОЛЬШЕ, использующийся для сравнения, и ЗДН АН, задающие значения, с которым происходит сравнение. Так как стенд находится в аудитории, то температура, ниже 10 градусов и выше 90 считается недостоверной. Данные значения записаны в блоки ЗДН АН.

Для проверки достоверности сигнала по скорости изменения температуры был использован блок дифференцирования ДИФФ. Параметры блока приведены на рисунке 11.



Параметры

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Вход
Set	Вход	аналог.	Ручное задание
OVR	Вход	логич.	Включение ручного задания
Freeze	Вход	логич.	«Замораживание» выхода
K	Вход	аналог.	Коэффициент передачи
Y	Выход	аналог.	Выход

Рисунок 11 – Внешний вид и параметры алгоблока ДИФФ

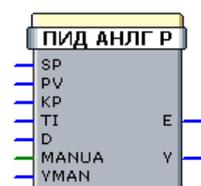
Данный алгоблок представляет собой идеальное дифференциальное звено. В случае, если скорость изменения сигнала высока, что может свидетельствовать о его недостоверности, то модуль дифференциала от изменения скорости также будет большой. После дифференцирования сигнал поступает в блок МОДУЛЬ. Данный алгоблок вычисляет модуль числа. Далее, для сравнения используются описанные выше алгоблоки БОЛЬШЕ и ЗДН АН.

Для объединения двух методов проверки достоверности информации используется блок ИЛИ. В случае, если информация оказалась недостоверной, на выходе данного блока формируется логическая единица. Данный сигнал

передается на первый дискретный выход контроллера DO[1], к которому подключено устройство сигнализации.

Также предусмотрена сигнализация в случае выхода температуры за желаемые пороги. Измеренное значение температуры снова с помощью блоков БОЛЬШЕ и ЗДН АН сравниваются с заданными значениями, которые в процессе работы системы можно менять. Результат сравнения через блок ИЛИ выводится на второй дискретный сигнал DO[2], который также подключен к устройству сигнализации.

Процесс регулирования температуры производится с помощью блока АНАЛ ПИД Р. Параметры блока приведены на рисунке 12. Данный алгоблок предназначен для управления по ПИД-закону регулирования пропорциональным исполнительным механизмом или аналоговым усилителем мощности.



Параметры

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
SP	Вход	аналог.	Задание
PV	Вход	аналог.	Регулируемый параметр
TF	Вход	аналог.	Постоянная времени фильтра
KP	Вход	аналог.	Коэффициент пропорциональности
TI	Вход	аналог.	Постоянная времени интегрирования
D	Вход	аналог.	Коэффициент ввода дифференциальной составляющей
DZONE	Вход	аналог.	Зона нечувствительности
YBOT	Вход	аналог.	Нижний предел
YTOP	Вход	аналог.	Верхний предел
MANUAL	Вход	логич.	Установить уставку
YMAN	Вход	аналог.	Уставка
ACTION	Вход	логич.	Направление действия (FALSE - прямое, TRUE - обратное)
E	Выход	аналог.	Значение рассогласования
Y	Выход	аналог.	Выход
YULM	Выход	аналог.	Выход без ограничения

Рисунок 12 – Внешний вид и параметры алгоблока ПИДАНАЛ Р

Алгоблок вычисляет разность между уставкой (заданием) и текущим значением, после чего это значение поступает на ПИД-регулятор. Передаточная функция для ПИД-регулятора имеет вид (1):

$$W(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + \frac{D \cdot T_i \cdot p}{1 + \frac{D \cdot T_i \cdot p}{8}} \right), \quad (1)$$

где K_p – коэффициент усиления регулятора;

T_i – постоянная времени интегрирования регулятора;

D – коэффициент ввода дифференциальной составляющей.

Также в состав алгоблока входят:

- фильтр – для фильтрации регулируемого параметра;
- зона нечувствительности – для исключения нежелательных срабатываний регулятора, при незначительных изменениях значения рассогласования;
- ограничитель выходного сигнала;
- ручное управление – в данном режиме на выход подается заданное значение управляющего воздействия вне зависимости от значения рассогласования.

Собранная программа регулирования представлена на рисунке 13.

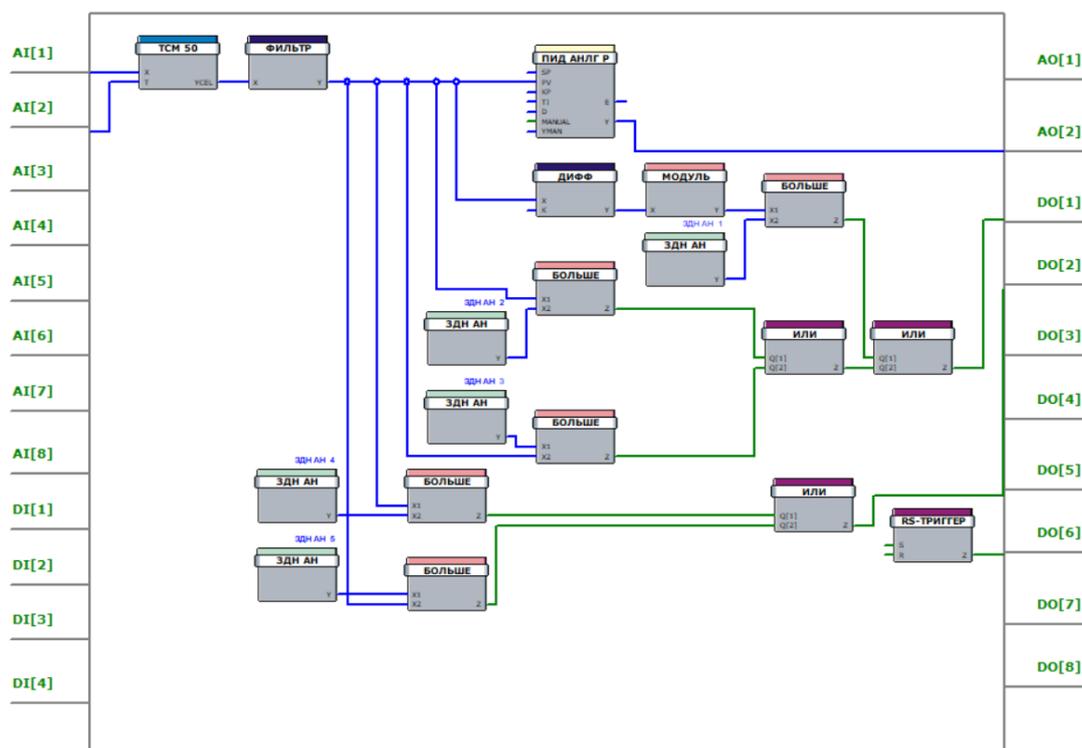


Рисунок 13 – Программа регулирования температуры

Для отображения параметров в программе КОНСОЛЬ необходимые параметры выносятся в отдельный список, с помощью которого можно в процессе работы системы менять значения параметров. Вид программы КОНСОЛЬ представлен на рисунке 14.

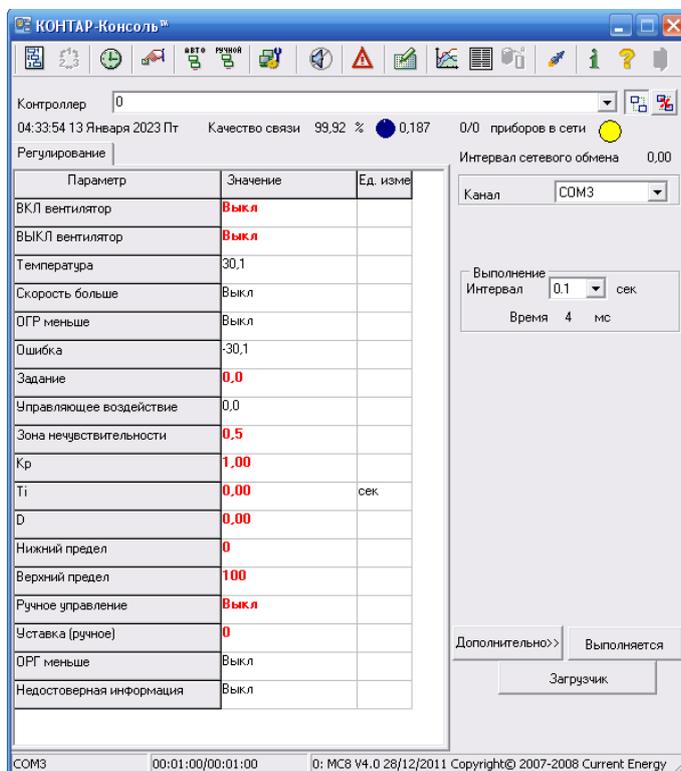


Рисунок 14 – Список «Регулирование» в программе КОНСОЛЬ

4 Математическая модель САР

Система автоматического регулирования – это комплекс устройств, который используется для автоматического поддержания заданного технологического режима работы. Моделирование САР является важным инструментом при проектировании, настройке и оптимизации систем. С помощью моделирования можно провести различные исследования, чтобы оценить работоспособность и эффективность автоматической системы в различных условиях и при разных параметрах. В данной работе модель САР температуры необходима для определения параметров настройки регулятора.

4.1 Структурная схема САР

Система автоматического регулирования температуры для данного лабораторного стенда состоит из регулятора, объекта управления (ОУ), БУСТА и датчика температуры. Так как работа выполняется с использованием программного обеспечения КОНГРАФ, то в данной системе автоматического регулирования используется аналоговый ПИД-регулятор, который является стандартным блоком в программе КОНГРАФ. Его передаточная функция приведена на структурной схеме САР.

В данной системе регулирования из заданного значения температуры вычитается текущее значение, поступающее с датчика температуры. Далее сигнал рассогласования поступает на ПИД-регулятор, который выдает управляющее воздействие в виде напряжения на объект управления. Выходом ОУ является температура, которая измеряется датчиком. Структурная схема системы автоматического регулирования приведена на рисунке 15.

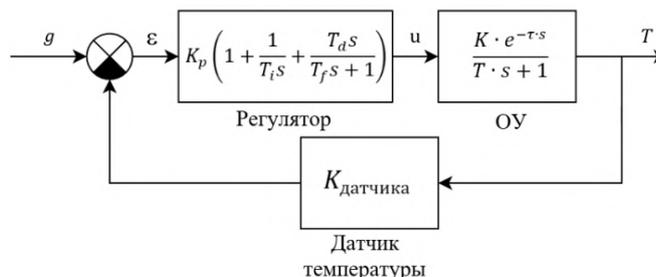


Рисунок 15 – Структурная схема САР

На рисунке приведены следующие обозначения:

g – задание;

ε – сигнал рассогласования;

u – управляющее воздействие;

T – температура объекта.

В данной работе главной задачей системы автоматического регулирования является поддержание требуемого значения температуры. Для этого необходимо определить параметры объекта регулирования, для дальнейшей настройки регулятора, который обеспечит необходимое качество технологического процесса.

4.2 Расчет параметров объекта управления

Для настройки регулятора необходимо определить модель объекта управления. Идентификация модели — это процесс определения параметров модели, которые наилучшим образом описывают объект управления [6]. Модель может быть представлена в виде уравнения, графика или другой формы, которая описывает взаимосвязь между переменными. В данном случае используется математическая модель в виде передаточной функции.

Существуют различные методы идентификации модели. По виду эксперимента методы идентификации модели делятся на активные и пассивные. Активный метод позволяет формировать входные воздействия на объект и получать его реакцию. При пассивном методе нет возможности вмешаться в процесс функционирования объекта, можно наблюдать и обрабатывать поступающие входные и выходные сигналы объекта.

В данном случае производится идентификация методом активного эксперимента, который подразумевает, что структура объекта известна, а результатом идентификации являются параметры модели. Согласно данному методу, параметры модели объекта управления находятся из кривой разгона, которая является реакцией объекта на ступенчатое воздействие.

Для получения параметров объекта управления данного лабораторного стенда на тепловой объект подается ступенчатое воздействие в виде напряжения величиной 5 В. В приложении КОНСОЛЬ в разделе «График»

выводится графическое изображение реакции объекта на входное воздействие. После этого проводятся дополнительные построения: отмечается установившееся значение, а также проводится касательная к кривой в точке момента появления выходного сигнала, отличного от нуля или начального значения. На основе данных построений определяются параметры модели (рисунок 16).

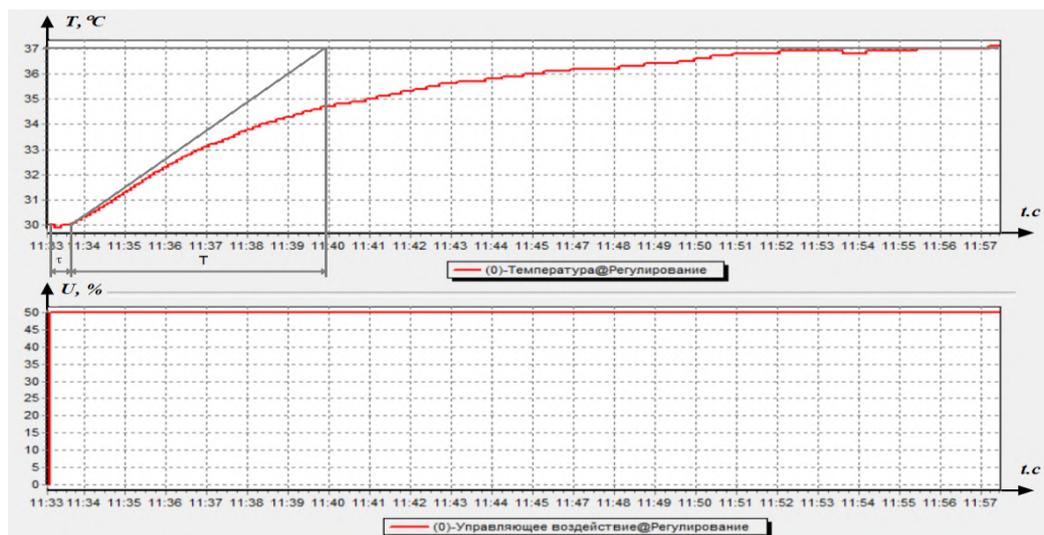


Рисунок 16 – Кривая разгона объекта управления

На рисунке 16 в верхней части расположен график кривой разгона объекта управления, отображающий изменение температуры объекта с $30\text{ }^\circ\text{C}$ до $37\text{ }^\circ\text{C}$. В нижней части расположен график, на котором представлено ступенчатое воздействие в виде изменения подаваемого на объект напряжения с 0 до 5 В (на рисунке напряжение отображается в процентах, где 50 процентов соответствует 5 В). В таблице 4 приведены точки кривой разгона относительно времени процесса.

Таблица 4 – Значения кривой разгона с течением времени

Напряжение, U, В	0	5													
Время, t, с	0	10	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	780	1050	1350
Температура, T, $^\circ\text{C}$	30	30	30.6	31.6	32.5	33.2	33.9	34.4	34.7	35	35.3	35.6	36.1	36.7	37

Исходя из рисунка 16, полученная кривая аппроксимируется аperiodическим звеном первого порядка с транспортным запаздыванием, передаточная функция которого имеет вид (2):

$$W(s) = \frac{K_{oy}e^{-\tau s}}{Ts + 1}, \quad (2)$$

где K_{oy} – коэффициент передачи объекта управления;

τ – время запаздывания, с;

T – постоянная времени, с.

Исходя из полученной кривой разгона время запаздывания равно 10 секунд, постоянная времени равна 335 секунд, а коэффициент передачи определяется, как (3):

$$K = \frac{\Delta T}{\Delta U}, \quad (3)$$

где K – коэффициент передачи, °C/В;

ΔT – изменение температуры, °C;

ΔU – величина напряжения, поданного на вход, В.

Изменение температуры определяется по формуле (4):

$$\Delta T = T_{уст} - T_0, \quad (4)$$

где $T_{уст}$ – установившееся значение температуры, °C;

T_0 – начальное значение температуры, °C.

При подстановке найденных значений в выражение (2) получается следующая передаточная функция модели объекта управления (5):

$$W(s) = \frac{1,4e^{-10s}}{335s + 1}. \quad (5)$$

Для проверки рассчитанных параметров объекта управления необходимо промоделировать процесс. На рисунке 17 изображена структурная схема модели объекта.

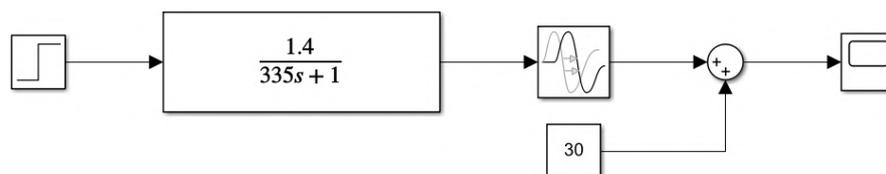


Рисунок 17– Структурная схема модели

В результате подачи ступенчатого воздействия на модель объекта была получена кривая разгона, представленная на рисунке 18.

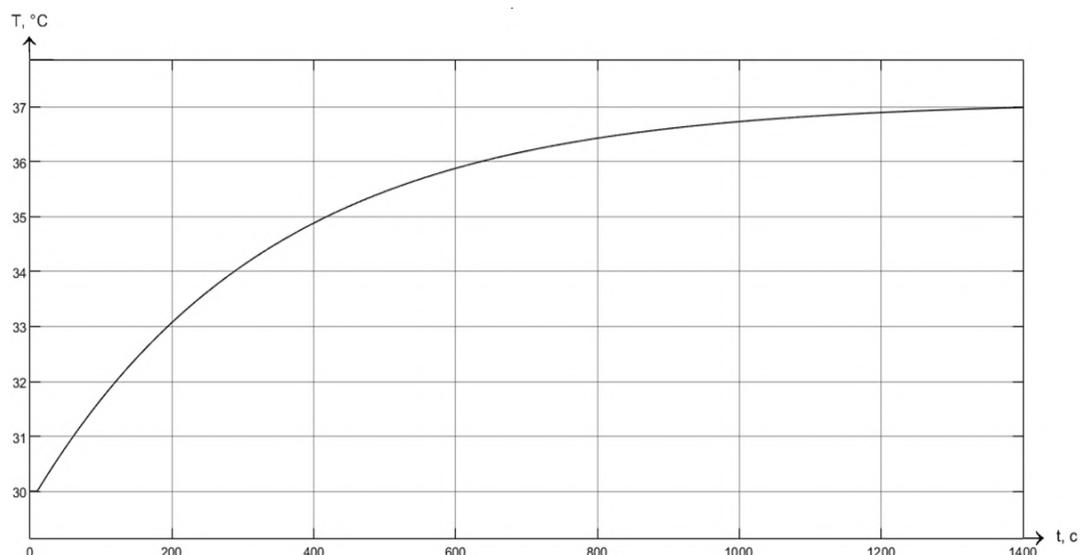


Рисунок 18 – Аппроксимированная кривая разгона

Данная кривая разгона совпадает с графиком, полученным экспериментальным путем. Далее, зная параметры объекта управления, можно найти значения параметров регулятора.

4.3 Определение параметров регулятора

Настройка регулятора является важным процессом для обеспечения правильной работы системы.

Автоматические регуляторы делятся на регуляторы с линейными законами регулирования или с нелинейными в зависимости от характера изменения регулирующего воздействия [7]. Наиболее распространенными линейными регуляторами являются П-, ПИ- и ПИД-регуляторы. В данной работе используется стандартный блок аналогового ПИД-регулятора из библиотеки программы КОНГРАФ.

Для настройки регулятора существуют различные методы, позволяющие по различным характеристикам системы найти коэффициенты регулятора. Наиболее распространенными являются следующие методы настройки:

- метод Циглера-Никольса;
- формульный метод;
- расчет настроек по частотным характеристикам;
- экспериментальная настройка.

Также для настройки регулятора необходимо установить требования к процессу регулирования. В данной работе необходимо получить переходный процесс с перерегулированием не более 15 процентов и временем регулирования не более 60 секунд.

Далее приведен процесс настройки регулятора для законов ПИ- и ПИД-регулирования первыми двумя методами.

4.3.1 Настройка регулятора методом Циглера-Никольса

Метод Циглера-Никольса является одним из наиболее распространенных методов настройки регулятора и основан на использовании переходной характеристики объекта управления. Наибольшую известность получили два варианта настройки параметров линейных регуляторов [8]. Для данной системы рассчитываются параметры ПИ- и ПИД-регуляторов каждым вариантом.

При настройке этого контроллера предполагается, что он имеет независимые настройки и его передаточная функция имеет следующий вид (6):

$$W_p(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s, \quad (6)$$

где k_p – коэффициент усиления регулятора;

k_i – постоянная интегрирования регулятора;

k_d – постоянная дифференцирования.

Так как структура данной передаточной функции отличается от передаточной функции регулятора из программы КОНГРАФ, то после нахождения параметров для функции (6) необходимо провести расчет параметров для используемого регулятора.

Первый вариант основан на использовании запаса устойчивости. Настройка регулятора включает в себя экспериментальное исследование системы, состоящей из П-регулятора и заданного объекта управления. Коэффициент усиления П-регулятора увеличивается до того момента, пока на выходе системы не возникнут колебания с постоянной амплитудой. Это

означает, что система находится на границе устойчивости. В данный момент фиксируется значение коэффициента усиления k_n^* , и измеряется период установившихся колебаний T^* . На основе найденных параметров, согласно таблице 5, настраивается желаемый тип регулятора.

Таблица 5 – Параметры типовых регуляторов при настройке первым вариантом метода Циглера-Никольса

Регулятор	k_p	k_i	k_d
П-регулятор	$0,50k_n^*$		
ПИ-регулятор	$0,45k_n^*$	$0,54k_n^*/T^*$	
ПИД-регулятор	$0,60k_n^*$	$1,2k_n^*/T^*$	$0,075k_n^*T^*$

Схема системы автоматического регулирования, построенная на основе структурной схемы САР, приведена на рисунке 19.

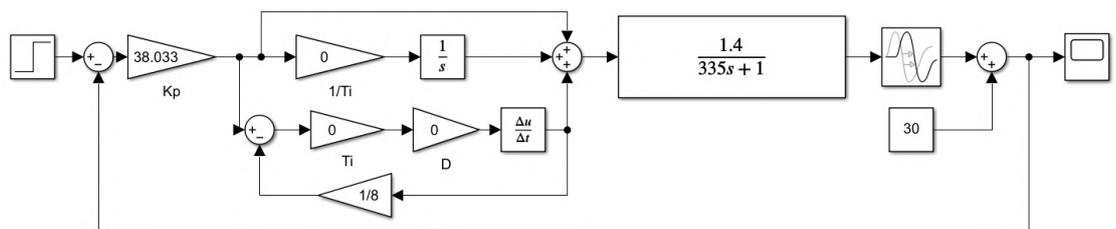


Рисунок 19 – Схема САР

Изначально интегральный и дифференциальный параметры регулятора приравниваются к нулю, а значение пропорционального параметра увеличивается, пока система не войдет в состояние автоколебаний.

При коэффициенте k_n^* равным 38.033 на выходе системы устанавливаются колебания с постоянной амплитудой (рисунок 20)

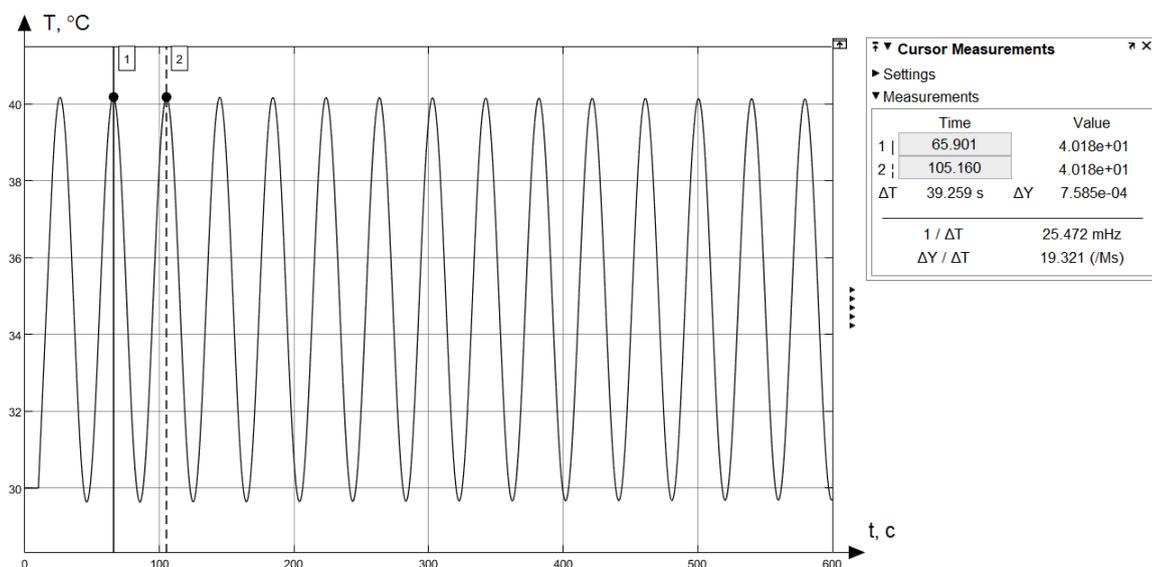


Рисунок 20 – Система в состоянии автоколебаний

Исходя из рисунка 20, период автоколебаний T^* равен 39.259 секунд.

На основе полученных характеристик процесса рассчитываются параметры регулятора согласно таблице 5. Найденные значения регуляторов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения параметров регуляторов при настройке первым вариантом метода Циглера-Никольса

Регулятор	K_p	T_i	D
ПИ-регулятор	17.115	32.723	
ПИД-регулятор	22.819	19.646	0.00016

После расчета параметров для ПИ- и ПИД-регулятора полученные значения подставляются в модель, после чего снимается кривая переходного процесса (рисунок 21).

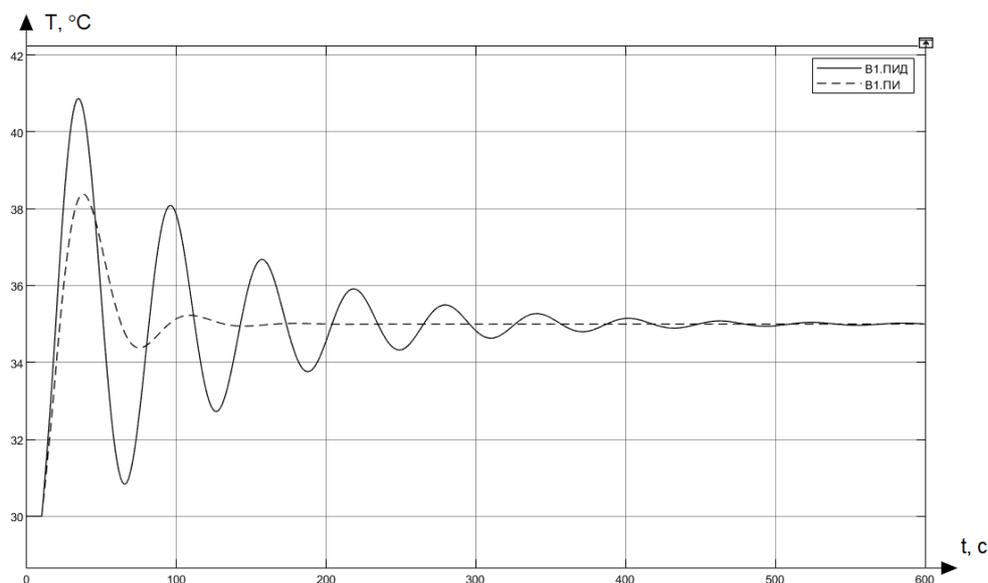


Рисунок 21 – Графики переходного процесса

Для оценки качества переходного процесса для полученных графиков необходимо определить время регулирования и перерегулирование. Время регулирования – это период времени, в течение которого переходная функция достигает значения, отличающегося от установленного значения на заданный параметр Δ , и затем остается в этой зоне. (в данной работе Δ равна 5 процентов). Перерегулирование – это максимальное отклонение выходного сигнала от заданной величин. Значения данных показателей приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели качества процесса при настройке регулятора первым вариантом метода Циглера-Никольса

Регулятор	Время регулирования, t_p , c	Перерегулирование, σ , %
ПИ-регулятор	88.63	67.6
ПИД-регулятор	344.61	117.2

Второй вариант нахождения параметров регулятора основан параметрах кривой разгона объекта. По данному методу найденные ранее значения времени запаздывания τ , постоянной T времени и коэффициента передачи k объекта управления необходимо подставлять в формулы, приведённые в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры типовых регуляторов при настройке регулятора вторым вариантом метода Циглера-Никольса

Регулятор	k_p	k_i	k_d
П-регулятор	$T/k\tau$		
ПИ-регулятор	$0,9T/k\tau$	$0,3T/k\tau^2$	
ПИД-регулятор	$1,2T/k\tau$	$0,6T/k\tau^2$	$0,6T/k$

Значения, получившиеся в результате расчета, приставлены в таблице 9.

Таблица 9 – Значения параметров регуляторов при настройке вторым вариантом метода Циглера-Никольса

Регулятор	K_p	T_i	D
ПИ-регулятор	21.536	30.303	
ПИД-регулятор	28.714	20	0.25

После расчета параметров для ПИ- и ПИД-регулятора полученные значения подставляются в модель, после чего снимается кривая переходного процесса (рисунок 22).

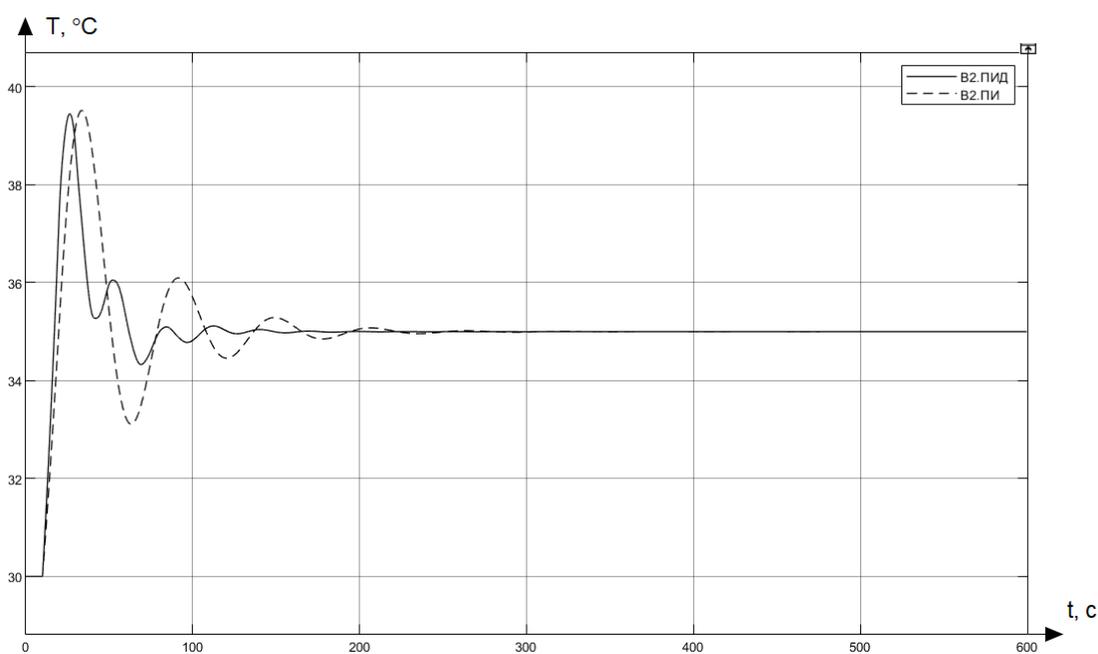


Рисунок 22 – Графики переходного процесса

Показатели качества полученных кривых переходного процесса представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели качества процесса при настройке регулятора вторым вариантом метода Циглера-Никольса

Регулятор	Время регулирования, t_p , с	Перерегулирование, σ , %
ПИ-регулятор	154.22	90.4
ПИД-регулятор	76.76	89

На основе полученных кривых переходного процесса и их показателей качества можно сделать вывод, что наилучшим из четырех регуляторов оказался ПИ-регулятор, рассчитанный первым вариантом. Он имеет наименьшее перерегулирование, а также одно из наименьших значений времени регулирования, однако данные параметры не удовлетворяют заданным значениям.

Таким образом, при настройке регулятора по методу Циглера-Никольса система оказывается устойчивой, однако не удовлетворяет требуемым значениям показателей качества объекта.

4.3.2 Настройка регулятора формульным методом

Формульный метод настройки регуляторов — это метод настройки регулятора, основанный на использовании математических формул и уравнений для расчета параметров регулятора. Одним из преимуществ формульного метода настройки регуляторов является то, что он позволяет быстро и эффективно настроить регулятор без необходимости проводить длительные эксперименты.

Для настройки регулятора формульным методом необходимо воспользоваться формулами для объекта с самовыравниванием (таблица 11) [7]. Расчет регулятора данным методом основывается на параметрах объекта, которые были ранее найдены по кривой разгона.

Таблица 11 – Формульный метод определения настроек регулятора для статических объектов с самовыравниванием

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	J_{\min}
П-регулятор	$K_p = \frac{0.3}{K_{oy}\tau/T}$	$K_p = \frac{0.7}{K_{oy}\tau/T}$	$K_p = \frac{0.9}{K_{oy}\tau/T}$
ПИ-регулятор	$K_p = \frac{0.6}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 0.6T$	$K_p = \frac{0.7}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 0.7T$	$K_p = \frac{1}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = T$
ПИД-регулятор	$K_p = \frac{0.95}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 2.4\tau$ $T_d = 0.4\tau$	$K_p = \frac{1.2}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0.4\tau$	$K_p = \frac{1.4}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 1.3\tau$ $T_d = 0.5\tau$

В данном методе предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид (7):

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right), \quad (7)$$

где K_p – коэффициент усиления регулятора;

T_i – постоянная интегрирования регулятора;

T_d – постоянная дифференцирования.

Для данного объекта производится настройка ПИ и ПИД регулятора по формулам для апериодического процесса и для перерегулирования в 20 процентов. В таблице 12 приведены результаты расчетов параметров регуляторов.

Таблица 12 – Значения параметров регуляторов при настройке формульным методом

Регулятор	Типовой процесс регулирования	K_p	T_i	D
ПИ-регулятор	Апериодический	14.357	201	

Продолжение таблицы 12 – Значения параметров регуляторов при настройке формульным методом

Регулятор	Типовой процесс регулирования	K_p	T_i	D
ПИ-регулятор	С 20% перерегулированием	16.75	234.5	
ПИД-регулятор	Апериодический	22.732	24	0.166
	С 20% перерегулированием	28.714	20	0.2

После расчета параметров для ПИ- и ПИД-регуляторов снимается кривая переходного процесса (рисунок 23-24).

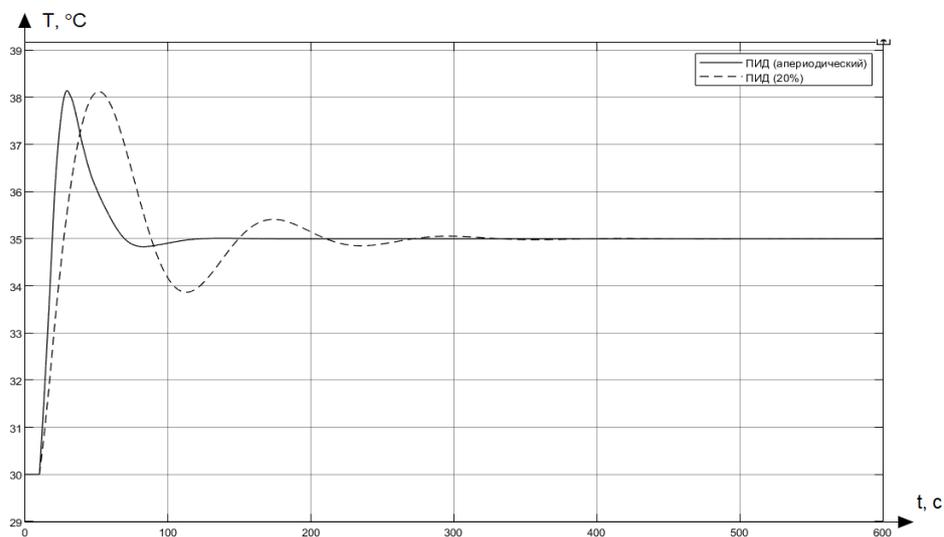


Рисунок 23 – Кривые переходного процесса систем с ПИ-регулятором

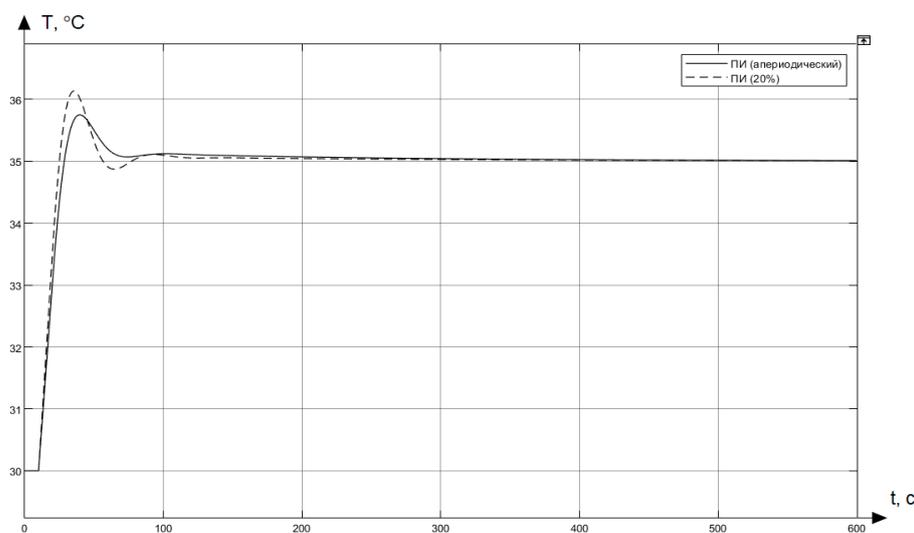


Рисунок 24 – Кривые переходного процесса систем с ПИД-регулятором

Для сравнения эффективности полученных регуляторов необходимо определить показатели качества процессов (таблица 13).

Таблица 13 – Показатели качества процесса при настройке регулятора формульным методом

Регулятор	Типовой процесс регулирования	Время регулирования, t_p , с	Перерегулирование, σ , %
ПИ-регулятор	Апериодический	57.843	14.8
	С 20% перерегулированием	51.176	22.6
ПИД-регулятор	Апериодический	63.33	62.6
	С 20% перерегулированием	192.94	62.8

В результате наилучшим регулятором для данной системы является ПИ-регулятор с апериодическим процессом регулирования. С данным регулятором время переходного процесса равняется 57.84 секунды, а перерегулирование не превышает 15 процентов. Таким образом настройка регулятора данной системы формульным методом обеспечивает достижение требуемых качеств процесса регулирования.

4.3.3 Корректировка параметров регулятора

Полученные значения параметров ПИ-регулятора для данной системы автоматического регулирования температуры необходимо проверить на реальном объекте. Для этого требуется подставить найденные коэффициенты регулятора в программе КОНСОЛЬ и вывести на график переходный процесс (рисунок 25).

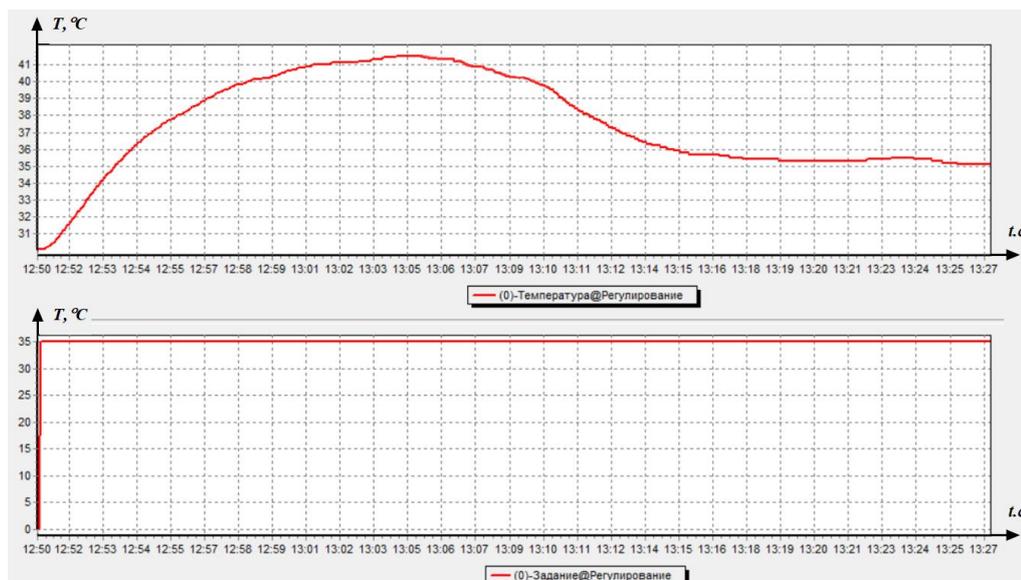


Рисунок 25 – Переходный процесс в КОНГРАФ

Так как при моделировании все процессы считаются идеальными, то в процессе реального эксперимента график переходного процесса может отличаться от полученного виртуально. Процесс нагревания является инерционным процессом, поэтому время регулирования занимает десятки минуты. В силу этого главной задачей было обеспечение значения перерегулирования не более 30 процентов. Переходный процесс, представленный на рисунке 25, не удовлетворяет желаемым качествам переходного процесса, так как перерегулирование равно 132 процента. Поэтому для достижения необходимого качества процесса в ходе ручной настройки необходимо скорректировать найденные параметры регулятора. Параметры ПИ-регулятора, удовлетворяющие заданным требованиям равны: $K_p = 17$, $T_i = 150$. Кривая переходного процесса с данными параметрами представлена на рисунке 26.

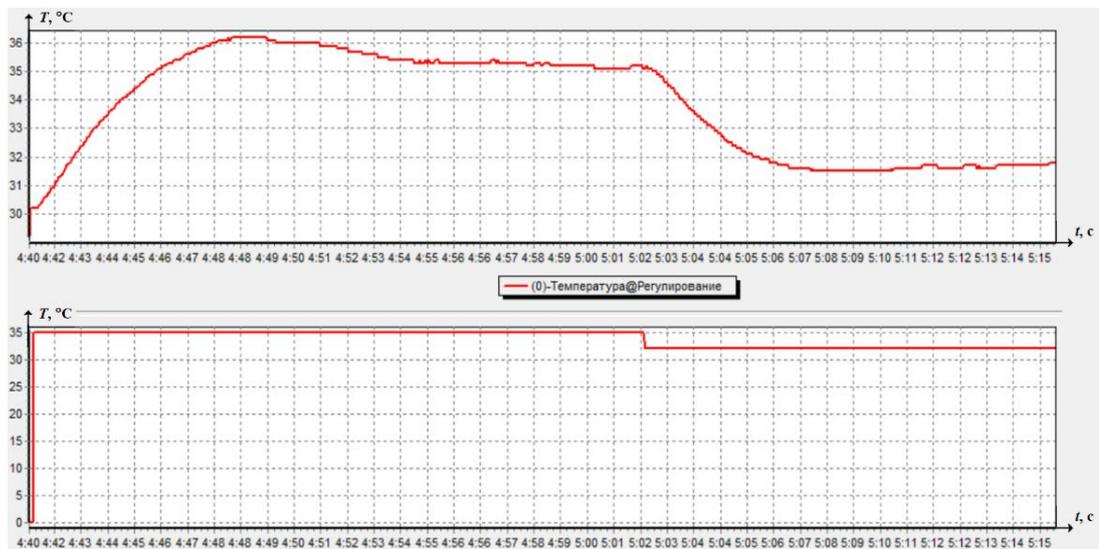


Рисунок 26 – Кривая переходного процесса со скорректированными параметрами

Время регулирования данного процесса равно 11 минут, а перерегулирование составляет 23.5 процентов, что удовлетворяет заданным требованиям.

5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

5.1 Структура методических указаний

Целью лабораторной работы «Создание программы регулирования температуры на базе ПТК КОНТАР» является знакомство с аппаратной реализацией на базе промышленного контроллера МС8.301, входящего в состав ПТК КОНТАР системы автоматического регулирования температуры. А также получение навыков составления математической модели объекта управления и определение параметра настройки регулятора. Получение навыков разработки программ аналогового регулирования для промышленного контроллера на языке FBD на примере программы регулирования температуры на базе ПТК КОНТАР.

Методические указания содержат следующие разделы:

- 1 Описание программно-технического комплекса КОНТАР.
 - 1.1 Аппаратная часть ПТК КОНТАР.
 - 1.2 Программная обеспечение ПТК КОНТАР.
 - 1.2.1 КОНГРАФ.
 - 1.2.2 КОНСОЛЬ.
 - 1.2.3 КОНТАР АРМ.
- 2 Состав и структура лабораторного стенда.
 - 2.1 Блок управления симисторами и тиристорами
- 3 Задание.
- 4 Методические указания по выполнению лабораторной работы.
 - 4.1 Создание программы регулирования температуры.
 - 4.2 Значение параметров и их отображение.
 - 4.3 Компиляция проекта и загрузка в контроллер.
 - 4.4 Построение графиков кривой разгона.
 - 4.5 Экспериментальное определение модели объекта управления.
 - 4.6 Расчет параметров ПИД-регулятора.
- 5 Контрольные вопросы.
- 6 Требования к отчету.

Полный текст методических указаний представлен в приложении В.

5.2 Краткое описание методических указаний

В разделе 1 методических указаний содержится описание программно-технического комплекса КОНТАР. Описано назначение комплекса, его применение, а также его состав. В его подразделах содержатся общие сведения о входящих в состав комплекса свободно-программируемых контролёрах Московского завода тепловой автоматики. Более подробно описан используемый в лабораторной работе контроллер МС8.301. Приведены функциональные возможности данного контроллера, основные технические параметры, а также функциональная схема ПЛК.

Далее приведено описание входящих в программно-технический комплекс средства и их краткое предназначение.

Подраздел 1.2 содержит описание программы КОНГРАФ, необходимой для создания программы автоматического регулирования температуры. Приведены функциональные возможности данной программы, а также описание ее интерфейса. Далее приведены общие сведения о программе Консоль, предназначенной для настройки работы комплекса КОНТАР. Описаны основные функции данной программы. Также описывается система диспетчеризации КОНТАР АРМ. Приводится предназначение программы и ее функциональные особенности.

В разделе 2 содержится описание лабораторного стенда и входящих в него приборов. Также представлена структурная схема стенда, на которой отображена связь между приборами и их расположение относительно уровней автоматизации. Приведено описание отдельных приборов стенда. Также представлена структурная схема автоматического регулирования, которая отображает процесс управления температурой. На ней изображены входящие в систему регулирования элементы и их передаточные функции. На основе схемы описан процесс регулирования температуры.

В разделе 3 приведено задание на лабораторную работу. В ходе лабораторной работы необходимо выполнить следующие задачи:

1. Составить программу регулирования температуры, содержащую первичную обработку информации.
2. Получить кривую разгона и определить модель объекта управления.
3. Определить параметры настройки ПИД-регулятора.
4. Получить кривую переходного САР процесса с ПИД-регулятором.
5. Определить перерегулирование и время переходного процесса.
6. Оформить отчет по лабораторной работе.

Далее, в разделе 4 содержится подробное описание процесса создания программы автоматического регулирования температуры, ее компиляции и загрузки в контроллер. Приведены теоретические материалы по определению модели объекта управления по его кривой разгона. Также приведен формульный метод настройки регулятора на основе найденных параметров объекта управления. Каждый шаг сопровождается графическим изображением.

В разделе 5 представлены контрольные вопросы, направленные на закрепление пройденного материала:

1. Что входит в состав программно-технического комплекса КОНТАР?
2. Для каких целей возможно применение блока управления симисторами и тиристорами?
3. Опишите процесс компиляции и загрузки программы в контроллер.
4. Опишите возможности и основные параметры алгоблока ПИД-регулятора.
5. Что входит в первичную обработку информации?
6. На основе каких параметров кривой разгона происходит построение модели объекта управления?

В конце методических указаний, в разделе 6, приведен список пунктов, которые должен содержать отчет по лабораторной работе:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Задачи.

4. Структурная схема лабораторного стенда и его описание.
5. Программа регулирования температуры.
6. Кривая разгона.
7. Расчет модели объекта и параметров ПИД-регулятора.
8. Переходная характеристика с ПИД-регулятором.
9. Ответы на контрольные вопросы.
10. Вывод.

Данная работа позволяет получить практические навыки работы с программным обеспечением программно-технического комплекса КОНТАР.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8Т92	Неволина Елена Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 32 962 руб. Оклад инженера – 19 200 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы – 20% Районный коэффициент – 30% Норма амортизации – 33,3%
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализа: выявление потенциальных клиентов, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение трудоёмкости работ для НИ, разработка графика проведения НИ (диаграмма Ганта), составление бюджета НИ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

*Оценка конкурентоспособности технических решений
Матрица SWOT
Альтернативы проведения НИ
График проведения и бюджет НИ
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	03.02.2023
--	------------

Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов Магеррам Али Оглы	Д.Э.Н., профессор		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Неволина Елена Сергеевна		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Оценка коммерческой ценности проекта определяет потенциал и перспективность исследовательского проекта и является одним из важнейших этапов при разработке проекта. Данная оценка является важнейшим условием при поиске источников финансирования, а также для представления перспектив проводимого исследования.

Объектом исследования является лабораторный стенд на основе промышленного контроллера КОНТАР-МС8.

Основными целями выполнения данного раздела является расчет затрат на разработку лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры и анализ его ресурсоэффективности в ходе эксплуатации

Основные задачи, которые необходимо решить для достижения цели:

- определение потенциальных потребителей разрабатываемого проекта;
- определение конкурентоспособности;
- выполнение SWOT-анализа;
- оценка времени выполнения работы;
- составление сметы затрат на проект;
- определение сравнительной эффективности.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются университеты, колледжи или иные учебные заведения. Лабораторный стенд и методические указания по выполнению лабораторной работы автоматического регулирования температуры позволяет получить навыки работы с промышленным контроллером и средствами автоматизации,

познакомиться с современным отечественным программно-техническим комплексом, а также получить навыки разработки программ регулирования процесса. Таким образом, разработка позволяет получить важные навыки в сфере автоматизации студентам, а также людям, проходящим повышение квалификации.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки. В качестве конкурента выбран стенд регулирования температуры электрической печи на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1, а также стенд позиционного регулирования температуры на базе контроллера КРОСС 500.

В таблице 14 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 14 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _р	Б _{к1}	Б _{к2}	К _р	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота эксплуатации	0,2	3	3	4	0,8	0,6	0,8
2. Универсальность	0,3	5	4	4	1,5	1,2	0,9
3. Надежность	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
4. Безопасность	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6

Продолжение таблицы 14 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Р	Б _{к1}	Б _{к2}	К _Р	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Цена	0,05	4	3	3	0,15	0,15	0,2
2. Срок службы	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Затраты на обслуживание	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Итого	1	28	24	27	4,25	3,55	3,7

Анализ конкурентных технических решений рассчитываем по формуле (8):

$$K = \sum B_i + B_i, \quad (8)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В результате анализа конкурентных технических решений было выявлено, что разрабатываемый стенд имеет коэффициент конкурентоспособности на 0,7 и 0,55 больше, чем решения конкурентов, соответственно можно сделать вывод, что предлагаемый стенд обладает лучшим функционалом и является более универсальным.

6.1.3 SWOT-анализ

Для стратегического планирования проекта был проведен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ – это метод стратегического планирования, для оценки внутренних и внешних факторов, которые влияют на развитие проекта. Он проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты данного этапа приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Доступное и бесплатное ПО. С2. Более низкая стоимость оборудования по сравнению с другими стендами. С3. Универсальность стенда. С4. Простота интерфейса. С5. Возможность модификации стенда для других задач.	В1. Развитие отрасли автоматизации, повышение интереса к направлению. В2. Увеличение спроса на обучающие установки. В3. Разработка виртуальной установки на основе стенда.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Необходимость в постоянном доступе к интернету. Сл2. Долгий технологический процесс. Сл3. Отсутствие методических указаний для выполнения других задач на стенде.	У1. Повышение цен на оборудование. У2. Уход производителя ПО с рынка. У3. Рост конкуренции на рынке с продукцией более низкой стоимости.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие). Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 16 и 17.

Таблица 16 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	-	-	+	-	-	+
	В2	+	+	-	+	-	-	+
	В3	-	-	+	-	+	+	-
	В4	-	-	+	-	-	-	+

Таблица 17 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	У1	+	+	-	-	-	-	-
	У2	+	+	-	-	-	-	-
	У3		-	+	+	+	-	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей: В1В2С1С4, В3В4С5; В3Сл2; В4Сл1Сл3; У1У2С1С2, У3С3С4; У3С1Сл3.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 18.

Таблица 18 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Доступное и бесплатное ПО. С2. Более низкая стоимость оборудования по сравнению с другими стендами. С3. Универсальность стенда. С4. Простота интерфейса.	Слабые стороны: Сл1. Необходимость в постоянном доступе к интернету. Сл2. Долгий технологический процесс. Сл3. Отсутствие методических указаний для выполнения других задач на стенде.
Возможности: В1. Развитие отрасли автоматизации, повышение интереса к направлению. В2. Увеличение спроса на обучающие установки. В3. Разработка виртуальной установки на основе стенда. В4. Возможность модификации стенда для других задач.	В1В2С1С4. Низкая стоимость стенда и повышенный интерес в сфере автоматизации приведет к увеличению спроса на данную разработку. В3В4С3. Разработка виртуального стенда с существующими или допиленными функциями привлечет новых клиентов.	В3Сл2. Проведение виртуальных испытаний и получение быстрых результатов. В4Сл1Сл3. Появление новых лабораторных работ, которые могут не зависеть от доступа в интернет.
Угрозы: У1. Повышение цен на оборудование. У2. Уход производителя ПО с рынка. У3. Рост конкуренции на рынке с продукцией более низкой стоимости.	У1У2С1С2. Повышение стоимости стенда в связи с увеличением затрат на оборудование или ПО приведет к уменьшению спроса. У3С3С4. Рынок не стоит на месте, поэтому, несмотря на универсальность разработки, могут появиться менее дорогие конкурентные решения.	У3С1Сл3. Появление менее дорогой разработки у конкурентов, которая решает возникшие на данный момент проблемы и которая является более универсальной, приведет к невостребованности стенда.

По результатам SWOT-анализа можно сделать вывод, что выявленные слабости проекта можно решить путем доработки стенда, его модификации или дополнительного создания виртуальной копии для проведения лабораторных работ дистанционно. Разрабатываемый стенд, несмотря на внешние угрозы, является перспективным из-за своей небольшой стоимости, универсальности и возможной модификацией.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В состав рабочей группы по разработке лабораторного стенда и программно-методического описания входят руководитель проекта и инженер. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 6.

Таблица 19 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследования	Руководитель, Инженер

Продолжение таблицы 19 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, Инженер
	4	Постановка задач работы	Руководитель, Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер
Разработка стенда	6	Описание технологического процесса	Инженер
	7	Сбор лабораторного стенда	Инженер
	8	Разработка структурной схемы	Инженер
	9	Разработка функциональной схемы	Инженер
	10	Разработка схемы внешних соединений	Инженер
Разработка программно-методического обеспечения лабораторной работы	11	Постановка целей и задач на лабораторную работу	Руководитель, Инженер
	12	Создание программного обеспечения лабораторной работы	Инженер
	13	Составление схемы САР	Инженер
	14	Проведение расчётов и определение параметров процесса	Инженер
	15	Разработка методических указаний по выполнению работы	Инженер
Обобщение и оценка результатов	16	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	17	Составление пояснительной записки	Руководитель, Инженер

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула (9):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (9)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (формула 10). Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 процентов.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (10)$$

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

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней были переведены в календарные дни по формуле 11.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (11)$$

где T_{k_i} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{p_i} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле 12:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (12)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{вых}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Для шестидневной рабочей недели в 2023 году 365 календарных дней, а сумма выходных и праздничных дней составляет 66 дней. Расчет коэффициента календарности производится по формуле 13:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{кал} + T_{кал})} = \frac{365}{365 - 188} = 1,48. \quad (13)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округлены до целого числа. Все рассчитанные значения были занесены в таблицу 20.

Таблица 20 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{p_i}		Длительность работ в календарных днях T_{l_i}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
Выбор направления исследования	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	1	2	3	4	1,8	2,8	0,9	1,4	1	2

Продолжение таблицы 20 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{li}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Постановка задач работы	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1
Описание технологического процесса	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2
Сбор лабораторного стенда	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Разработка структурной схемы	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2
Разработка функциональной схемы	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4
Разработка схемы внешних проводок	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4
Постановка целей и задач на лабораторную работу	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1
Создание программного обеспечения лабораторной работы	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	6
Составление схемы САР	-	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	3
Проведение расчётов и определение параметров процесса	-	6	-	10	-	7,6	-	7,6	-	11
Разработка методических указаний по выполнению работы	-	6	-	10	-	7,6	-	7,6	-	11
Оценка эффективности полученных результатов	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	6
Составление пояснительной записки	4	5	5	6	4,4	5,4	2,2	2,7	7	9
Итого							6,9	39,1	14	68

На основе таблицы 20 был составлен календарный план-график проведения работ в виде диаграммы Ганта, представленный на рисунке 27.

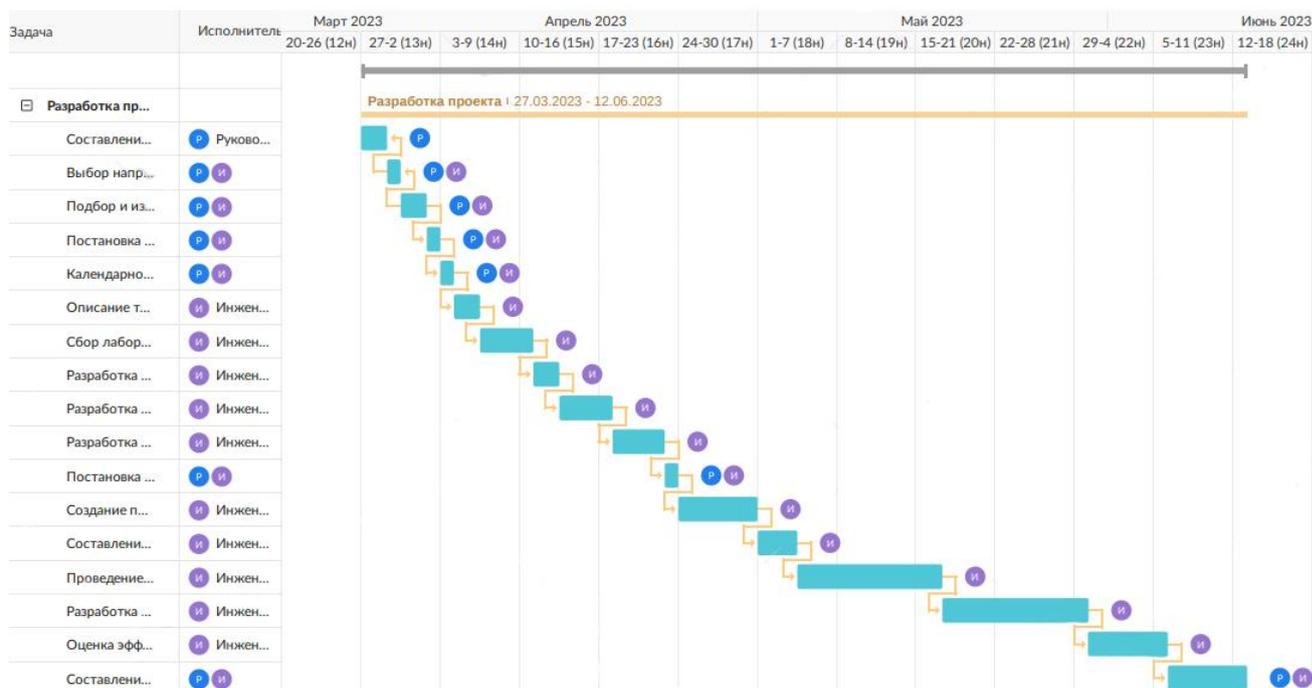


Рисунок 27 – Диаграмма Ганта

6.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (14):

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} \cdot m \quad (14)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 21 сведены сведения о материальных затратах на научные исследования.

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Промышленный контроллер КОНТАР-МС8	Шт.	1	25 000	25 000
Персональный компьютер	Шт.	1	30 000	30 000
Блок питания DR – 60-24	Шт.	1	2 500	2 500
Реле на 24 В	Шт.	5	250	1 250
Автомат iEK с сигнальными лампами	Шт.	1	500	500
Термометр сопротивления TCM 50M	Шт.	1	1 200	1 200
Нагревательный элемент	Шт.	1	50	50
DIN рейка	Шт.	1	150	150
Охлаждающий элемент	Шт.	1	150	150
Аналоговые и дискретные задатчики	Шт.	1	500	500
Коммутационные провода	Шт.	20	5	100
Итого				61 400

Таким образом, материальные затраты составили 61 400 рублей.

6.3.2 Расчет затрат на специально оборудование для научных работа

Результаты расчетов по приобретению спецоборудования и оборудования (в нашем случае, пакетов программ), имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	AutoCAD 2022	1	16667	16667
2	Microsoft Office	1	9 978	9 978
3	MATLAB	1	6737	6737
Итого:				9 978

6.3.3 Основная заработная плата

В данной работе учитывается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Учитывается основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, и дополнительная заработная плата (формула 15):

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{дон}, \quad (15)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле (16):

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p, \quad (16)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 17:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (17)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (Фд)	243	271

Месячный должностной оклад работника вычисляется по формуле 18:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (18)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 24.

Таблица 24 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	k_{np}	k_{∂}	k_p	Z_m , руб.	$Z_{\partial n}$, руб.	T_p , раб. дн.	Z_{ocn} , руб.
Руководитель	32962	0,3	0,3	1,3	68560,96	2934,3	6,9	20246,67
Инженер	19200	0,3	0,3	1,3	39936	1532,6	39,1	59924,66
Итого:								80171,33

6.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (19):

$$Z_{\partial on} = k_{\partial on} \cdot Z_{ocn}, \quad (19)$$

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

В таблице 25 представлен расчет дополнительной заработной платы.

Таблица 25 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	Z_{ocn} , руб	$k_{\partial on}$	$Z_{\partial on}$, руб
Руководитель	20246,67	0,12	2429,6
Инженер	59924,66	0,12	7190,96
Итого:			9620,25

6.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (20):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{ocn} + Z_{\partial on}), \quad (20)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработанная плата, руб.	Дополнительная заработанная плата, руб.
Руководитель	20246,67	2429,6
Инженер	59924,66	7190,96
Отчисления во внебюджетные фонды	30 %	
Итого		
Руководитель	6802,88	
Инженер	20134,69	
Итого:	26937,57	

6.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле (21):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (21)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов возьмем в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (61400 + 9978 + 80171,33 + 9620,25 + 26937,57) = 24453,93 \text{руб.}$$

6.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	61 400
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	9 978
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	80171,33

Продолжение таблицы 27 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9620,25
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26937,57
6. Накладные расходы	24453,93
7. Бюджет затрат НИИ	212561,08

В ходе формирования бюджета затрат на НИИ вышло, что затраты составляют 212 561,08 рублей.

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

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечиваются научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используются метод балльных оценок.

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется по формуле 22:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (22)$$

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

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

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

Первым аналогом является стенд на базе контроллера РП-5ТМ1, а вторым является стенд на базе контроллера КРОСС 500. Так как на сложность проекта влияет огромное количество факторов, величина Φ_{max} выбирается приблизительно, исходя из имеющихся данных.

Расчет интегрального финансового показателя разработки представлен в таблице 28.

Таблица 28 – Интегральный финансовый показатель

Исполнитель	Φ_{pi}	Φ_{max}	$I_{фин.р}$
Стенд на базе контроллера КОНТАР	212 561,08	250000	0,85
Стенд на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1	2450000		0,98
Стенд на базе контроллера КРОСС 500	250000		1

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом (формула 23):

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (23)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Стенд на базе контроллера КОНТАР	Стенд на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1	Стенд на базе контроллера КРОСС 500
Критерии				

1. Качество регулирования	0.3	5	4	54
2. Потребление электрической энергии	0.2	3	7	6

Продолжение таблицы 29 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Стенд на базе контроллера КОНТАР	Стенд на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1	Стенд на базе контроллера КРОСС 500
3. Вычислительная мощность	0.1	6	3	5
4. Наработка на отказ	0.2	4	5	3
5. Помехоустойчивость	0.1	6	5	4
6. Время отклика	0.1	5	2	6
Итого	1			

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя (формулы 24-26):

$$I_1 = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,75}{0,92} = 5,58. \quad (24)$$

$$I_2 = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}^{исп2}} = \frac{3,6}{0,98} = 3,67. \quad (25)$$

$$I_3 = \frac{I_{p-исп3}}{I_{фин.р}^{исп3}} = \frac{3,65}{1} = 3,65. \quad (26)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта вычисляется по формуле 27:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}}. \quad (27)$$

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Стенд на базе контроллера КОНТАР	Стенд на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1	Стенд на базе контроллера КРОСС 500

1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,98	1
---	---	------	------	---

Продолжение таблицы 30 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Стенд на базе контроллера КОНТАР	Стенд на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1	Стенд на базе контроллера КРОСС 500
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	3,6	3,65
3	Интегральный показатель эффективности	5,85	3,67	3,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,52	0,63	0,62

Сравнивая значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности

6.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В данном разделе оценены экономические аспекты разработки исследуемого стенда для автоматического регулирования температуры:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования.
2. Проведён анализ конкурентных технических решений.

Разрабатываемый стенд на текущем этапе уступает конкурентам по простоте эксплуатации, однако выигрывает за счет функциональности, универсальности и цены.

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: повышение цен на оборудование, уход производителя ПО с рынка и рост конкуренции на рынке. Однако данная разработка обладает такими возможностями, как модификации стенда для увеличения потенциально выполняемых задач и разработка виртуальной установки на основе стенда.

4. При планировании научно-исследовательских работ была определена структура работ в рамках научного исследования, по результату чего можно говорить о том, что большинство работ было проделано самостоятельно. Также разработан график проведения научного исследования в виде диаграммы Ганта.

5. В процессе расчёта бюджета НИИ было определено, что общий бюджет, требуемый для проведения научно-технического исследования, составил 212561,08 руб. При оценке эффективности исследования было выявлено, что разработанный лабораторный стенд для автоматического регулирования температуры достаточно эффективен среди конкурентов, занимающихся разработкой ученых лабораторных стендов.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа		ФИО	
8Т92		Неволина Елена Сергеевна	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объект исследования:</i> программно-технический комплекс КОНТАР. <i>Область применения:</i> учебный процесс ТПУ. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория. <i>Размеры помещения (климатическая зона *):</i> 8*5м². <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> ПК, промышленный контроллер КОНТАР МС8, тепловой объект, охлаждающий элемент, блок питания, датчик температуры ТСМ 50М. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и регулирование температуры теплового объекта, переключение оборудования.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Рабочее место должно соответствовать требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего. – Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды.

	<ul style="list-style-type: none"> – Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения. – Повышенный уровень шума. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов. <p>Средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: вентиляция помещения, применение звукоизоляции, использование источника искусственного освещения, изоляция проводов.</p>
3. Экологическая безопасность:	<p>Воздействие на селитебную зону: нет.</p> <p>Воздействие на литосферу и гидросферу: загрязнение при утилизации устаревшей или пришедшей в негодность техники.</p> <p>Воздействие на атмосферу: нет.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС: наводнения, геологические воздействия (землетрясения, оползни), пожары.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	03.02.2023
--	------------

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т92	Неволина Елена Сергеевна		

7 Социальная ответственность

В выпускной квалификационной работе производится разработка программно-методического обеспечения лабораторной стенда системы автоматического регулирования температуры. Данный стенд является удобным средством для изучения процессов автоматического регулирования параметров, настройки ПИД-регулятора, создания программы контроля и управления процессом и получения ряда других навыков в области автоматизации технологических процессов.

Лабораторный стенд располагается в учебной аудитории в корпусе Томского политехнического университета, расположенного в городе Томск. Установка состоит из промышленного контроллера КОНТАР МС8, теплового объекта (лампочки), охлаждающего элемента, блока питания, датчика температуры ТСМ 50М и персонального компьютера. Основными вредными факторами при работе с данным лабораторным стендом являются микроклимат, температура, освещение и шум. Наиболее опасными факторами являются пожароопасность и факторы, связанные с электрическим током.

Данный раздел направлен на разработку решений, исключающих неблагоприятные воздействия на человека и окружающую среду, которые могут возникнуть в процессе разработки проектной работы и дальнейшей эксплуатации лабораторного стенда. Для этого в разделе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная и экологическая безопасность, а также безопасность в чрезвычайных ситуациях.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В трудовом кодексе РФ содержатся положения, направленные на установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, а также создание благоприятных условий труда.

Нормальная продолжительность работы для студентов или персонала за лабораторным стендом не должна превышать 40 часов в неделю в соответствии с ТК РФ [9].

Всё оборудование, входящее в состав стенда, а также средства индивидуальной и коллективной защиты должны соответствовать государственным требованиям охраны труда и иметь сертификат и (или) декларацию о соответствии [10].

Рабочее место для выполнения лабораторной работы должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя и учитывать антропометрические свойства человека. Работа на данной установке и ПК относится к легкой работе, поэтому в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 высота рабочей поверхности при организации рабочего места должна быть в пределах 655-750 мм. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола расположена в пределах 400-430 мм. Положение монитора определяется расстоянием считывания (0,6-0,7м) и углом считывания (20°) [11].

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-80 места контактов органов управления с руками, работающего на стенде, должны быть выполнены из нетеплопроводных и электроизоляционных материалов [12].

7.2 Производственная безопасность

Разработка проектного решения и дальнейшая его эксплуатация сопровождается факторами, которые могут принести вред здоровью человека. Данные факторы делятся на вредные и опасные. Выявленные возможные вредные и опасные производственные факторы, а также нормативные

документы, регламентирующие действие каждого фактора приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте в лаборатории

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [13]. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [14].
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды.	ГОСТ Р 51337-99 Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей [15].
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения.	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [13]. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [16].
Повышенный уровень шума.	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [13].
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов.	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [17].

Согласно приведенным нормативным документам для каждого из факторов должно быть разработано решение, обеспечивающее снижение их влияния, а также безопасное эксплуатирование разработанного проектного решения.

7.2.1 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

Отклонение параметром микроклимата от рекомендованных значений снижают работоспособность и ухудшают самочувствие работника. Низкая температура вызывает охлаждение организма и может способствовать возникновению простудных заболеваний. Высокая вызывает перегрев организма, повышенное потоотделение и снижение работоспособности. Повышенная влажность воздуха ведет к нарушению терморегуляции организма и ухудшению состояния человека.

Показатели микроклимата на рабочем месте должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой. Санитарные правила согласно СанПиН 1.2.3685-21 устанавливаются с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года [13].

По степени физической тяжести работа за установкой относится к категории лёгких работ (Ia), с энергозатратами организма до 139 Вт, так как работа выполняется сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. В таблице 32 приведены допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах производственных помещений [13].

Таблица 32 – Допустимые величины параметров микроклимата

Период года	Температура воздуха		Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		
Холодный	20,0 - 21,9	24,1 – 25,0	15 - 75	0,1
Теплый	21,0 - 22,9	25,1 – 28,0	15 - 75	0,1

Параметры микроклимата в аудитории соответствует оптимальным величинам показателей микроклимата, однако в помещении отсутствует

принудительная вентиляция, а имеется лишь естественная: воздух поступает и удаляется через окна, двери. Согласно СП 60.13330.2020 в помещении площадью более 20м² воздухообмен на одного человека должен составлять не менее 30 м³/час [14]. Поскольку в помещении не выполняется требование к объему воздуха на одного работающего, то необходимо наличие принудительной вентиляции. Иначе необходимо предусмотреть регулярное проветривание помещения. Поддержание остальных параметров температурно-влажностного режима осуществляется с помощью системы отопления помещения.

7.2.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды

Разрабатываемое проектное решение предполагает работу с тепловым объектом – лампочкой. В ходе выполнения лабораторной работы студентам необходимо будет регулировать температуру объекта. Так как лампочка может нагреться до температуры более чем 100 градусов, то она является потенциально опасным объектом.

Для оценки риска ожога от горячей поверхности необходимо знать факторы и влияния, ведущие к ожогу при соприкосновении кожи с горячей поверхностью. В соответствии с ГОСТ Р 51337-99 главными факторами являются температура поверхности, материал поверхности и продолжительность контакта кожи с поверхностью [15]. На рисунке 28 приведена данная зависимость температуры от продолжительности прикосновения для поверхности из стекла.

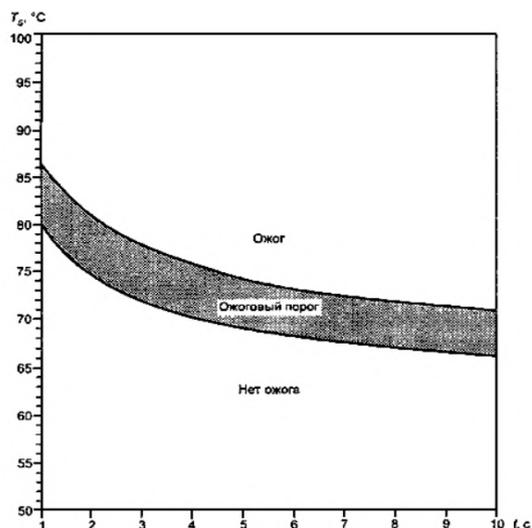


Рисунок 28 – Область ожогового порога при соприкосновении кожи с гладкой горячей поверхностью из керамики, стекла и камня

В соответствии с данным рисунком, температуры более 75-80 градусов могут вызывать ожоги даже при случайных кратковременных прикосновениях. Поэтому для избежания получения термических ожогов следует соблюдать технику безопасности при работе с тепловым объектом, которая заключается в том, чтобы избегать прикосновения во включенном состоянии, а также следовать указаниям по лабораторной работе и не нагревать объект до температур более 60 градусов.

7.2.3 Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения

Разрабатываемый лабораторный стенд и персональный компьютер находятся в углу у стены аудитории, далеко от естественного освещения, в следствии чего на рабочее место попадает мало света. Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт и является причиной головной боли.

Поэтому для проведения студентами исследовательских работ рабочее место должно быть хорошо освещено. В таблице 33 приведены требования к освещению рабочих мест в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [13].

Таблица 33 – Требования к освещению рабочих мест на промышленных предприятиях

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Искусственное освещение			Совмещенное освещение	
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Объединенный показатель UGR, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	КЕО еН, %	
						При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Малая точность	св. 1 до 5	V	200	25	20	1,8	0,6

По нормам освещенности, согласно СП 52.13330.2016 в аудитории необходимо предусмотреть выполнение следующих мероприятий [16]:

- реализовать систему освещения таким образом, чтобы студент мог отчётливо видеть результаты, полученные в процессе работы за стендом и выполнять необходимые записи без напряжения зрения;

- в дневное время также использовать искусственное освещение;

- исключить в одном помещении для общего освещения источники света различной природы излучения (люминесцентные лампы и лампы накаливания).

7.2.4 Повышенный уровень шума

Шум на данном рабочем месте может создаваться персональным компьютером, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека.

В производственных помещениях при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80дБА [13].

К средствам индивидуальной защиты относятся противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы, каски. В лаборатории из данных средств защиты предусмотрены наушники.

7.2.5 Производственные факторы, связанные с электрическим током

Разработка проектного решения и дальнейшее выполнение студентами лабораторной работы предполагает работу с лабораторной установкой, состоящей из электрических приборов, находящихся под напряжением, в следствии чего есть опасность поражения человека электрическим током. Основным источником возможного возникновения данного фактора является прикосновение к токоведущим частям установки, или к нетокведущим частям, оказавшимся под напряжением, а также неисправность приборов.

Электрический ток представляет большую опасность для организма человека. При прохождении через тело человека он вызывает ожоги, разложение жидкостей в теле, разрыв тканей, нарушение дыхания и работы сердца.

В лабораторном стенде используются приборы, потребляющие напряжение 220 В переменного тока с частотой 50 Гц. В соответствии ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов не должны превышать значений, указанных в таблице 34 [17].

Таблица 34 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значение, не более, при продолжительности воздействия тока t, с											
		0,01 - 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный 50 Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

Для предотвращения поражения электрическим током в аудитории оборудование оснащено защитным заземлением, все токоведущие части защищены от случайных соприкосновений, а питание устройств осуществляется от силового щита через автоматический выключатель.

Также при работе с установкой необходимо соблюдать технику безопасности и следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить ответственному за оборудование;
- запрещается загромождать рабочее место лишними предметами.

7.3 Экологическая безопасность

Проектируемый лабораторный стенд в процессе своей эксплуатации не оказывает вредного влияния на экологию, однако при поломке или устаревании элементы стенда подвергаются утилизации, что может привести к загрязнению окружающей среды. Отходы чаще всего складываются на свалках или попадают в реки и другие водоемы, что оказывает отрицательное влияние на литосферу и гидросферу Земли.

Отработавшее электротехническое и электронное оборудование (ОЭЭО) делится на отходы для повторного использования после устранения неисправностей и на отходы, подлежащие переработке для извлечения вторичных ресурсов.

Основная масса отходов электроники и электротехнического оборудования относится к малоопасному 4 классу опасности для окружающей среды [18]. Однако источник питания относится к 2 классу опасности.

Утилизация оборудования должна осуществляться в соответствии с ГОСТ Р 55102-2012, согласно которому устройство, вышедшее из эксплуатации, должно пройти следующие стадии: сбор, хранение, транспортирование и разборка. Приоритетом разборки является обеспечение возможности повторного использования ОЭЭО для первоначальных и иных целей после дополнительной обработки [19]. При отсутствии возможности повторного использования ОЭЭО подлежит другим способам утилизации, при

этом сжигание должно рассматриваться как наименее предпочтительный вариант утилизации.

Основными технологиями дальнейшей утилизации ОЭЭО является их измельчение с последующей сортировкой полученных фракций и получением полиметаллического концентрата. Результатом утилизации ОЭЭО является производство готовой продукции. [20].

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайной ситуацией является обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, стихийного бедствия, которые могут повлечь человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери [21]. Возможными ЧС на данном рабочем месте могут быть: наводнения, геологические воздействия, к которым относятся землетрясения или оползни, а также пожары – они являются наиболее типичной ЧС.

Все чрезвычайные ситуации подлежат предупреждению – комплексу мероприятий, которые направлены на максимально возможное уменьшение риска возникновения данных ситуаций, а также на сохранение здоровья и жизни людей.

7.4.1 Безопасность в ЧС природного характера

К возможным и наиболее вероятным природным чрезвычайным ситуациям на данной территории относятся: землетрясения – кратковременные колебания земной поверхности, вызванные сейсмическими волнами; наводнения – затопление водой значительных территорий, результате подъема уровня воды в реке,

Для избежания человеческих жертв в случае возникновения данных или иных природных ЧС должен быть разработан план эвакуации, обеспечения людей средствами индивидуальной и комплексной защиты, предусмотрены места расположения людей в случае невозможности эвакуации.

7.4.2 Пожарная безопасность

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть в данном помещении, является пожар. Аудитория, в которой располагается лабораторный стенд, относится к категории В по пожарной и взрывной опасности помещения, так как в ней располагаются твердые горючие материалы (деревянные шкафы и столы), электропровода напряжением 220В, а также электронагревательные приборы [22].

Возможные причины пожара в данном помещении: короткое замыкание; перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции; неисправность приборов или электросетей; небрежность работника при работе с компьютером или другими приборами под напряжением.

Класс возможного пожара в аудитории – Е [23]. Для локализации или ликвидации пожара на начальной стадии в аудитории должны находиться первичные средства пожаротушения. К ним относятся огнетушители, вода, песок, внутренний пожарный кран и др. Учебная аудитория оборудована необходимыми средствами, обеспечивающими пожарную безопасность, а именно: имеется газовый углекислотный огнетушитель типа ОУ–5, установлен рубильник, обесточивающий весь кабинет, имеется пожарная и охранная сигнализация. На входной двери приведен план эвакуации при пожаре.

Для избежания возникновения пожара в учебном помещении необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

– организационные: противопожарный инструктаж студентов и рабочих, обучение правильной работе с оборудованием, а также обучение технике безопасности.

– технические мероприятия: соблюдение противопожарных правил при разработке проектного решения, при устройстве электропроводок, оборудования, систем освещения.

- режимные мероприятия: соблюдение противопожарных мер при работе с установкой и установленных правил организации работы.

- эксплуатационные мероприятия: своевременные профилактические осмотры и ремонт технологического оборудования.

При выполнении лабораторной работы на данном стенде студент должен соблюдать следующую технику безопасности:

- студенту запрещается включать стенд без проверки его преподавателем.

- во время работы нельзя прикасаться к оголенным частям проводов.

- во время работы нельзя прикасаться к тепловому элементу (лампочке).

- после завершения работы необходимо отключить стенд из сети.

- при обнаружении любых повреждений или неисправностей электрического оборудования лабораторного стенда, а также при появлении дыма, искрения, специфического запаха перегретой изоляции нужно немедленно обесточить стенд и сообщить об этом преподавателю.

- к лабораторной работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

7.5 Выводы по разделу по разделу «Социальная ответственность»

В результате проведенного анализа было выявлено, что работа за разрабатываемым лабораторным стендом относится к легкой работе Ia согласно СанПиН 1.2.3685-21. В соответствии с этим были указаны режим работы на данном рабочем месте, а также эргономические требования к рабочей зоне.

Помещение, в котором располагается лабораторная установка, относится ко 2 категории (помещения с повышенной опасностью) по электробезопасности согласно пункту 1.1.13 ПУЭ [24].

Аудитория, в которой располагается установка, относится к категории В (пожароопасная) в соответствии с категориями помещений по пожароопасности. Для избежания человеческих жертв в ЧС необходимо проводить мероприятия по предупреждению появления данных ситуаций, а в случае возникновения ЧС должны быть разработаны меры по сохранению жизни и здоровья людей.

Также было выявлено, что объект относится к IV категории объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, так как входящее в стенд оборудование используется исключительно для исследований и разработок, а также отсутствует выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух или в сточные воды [25].

Разрабатываемая установка будет использоваться студентами, которые относятся ко II группе по электробезопасности и должны иметь элементарные технические знания об электроустановке, а также знать меры предосторожности при работе с установкой [26].

В результате были определены значения потенциально возможных вредных и опасных факторов в соответствии с нормативными документами. Для большинства из них фактические значения соответствуют допустимым значениям, а для факторов с неудовлетворительными значениями были разработаны меры по достижению необходимых значений и предотвращения негативного влияния условий труда на здоровье человека.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была произведена модернизация лабораторного стенда и разработаны программно-методические указания по выполнению лабораторной работы на тему «Система автоматического регулирования температуры на базе программно-технического комплекса КОНТАР».

В процессе работы в среде программирования КОНГРАФ была создана программа автоматического регулирования температуры, экспериментально получена модель объекта управления, и подобран регулятор для системы управления. Проведенное тестирование показало, что система отвечает заданным требованиям регулирования.

На основе полученных результатов было разработано методическое обеспечения лабораторной работы, направленное на получение навыков работы с отечественным программно-техническим комплексом и входящим в него промышленным контроллером. Данное методическое обеспечение позволяет получить навыки разработки программ аналогового регулирования для промышленного контроллера на языке FBD на примере программы регулирования температуры.

Разработанные методические указания по выполнению лабораторной работы будут в дальнейшем использоваться студентами, обучающимися по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» при изучении курса «Локальные системы управления».

Список литературы

1. Программно-технический комплекс КОНТАР [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.mzta.ru/kontar> (дата обращения: 13.01.2023);
2. Контроллеры измерительные МС8, Контроллеры МС12 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.mzta.ru/mc8> (дата обращения: 13.01.2023);
3. БУСТ блок управления тиристорами и симисторами ОВЕН [Электронный ресурс] Режим доступа: https://owen-uфа.ru/shop/proizvoditeli/owen/bust-blok-upravleniya-tiristorami-i-si/?_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTszNDgyMTAwNTsxMzEwNzcwMzcхMzt5YW5kZXgucnU6сHJlbW11bQ&yclid=1722707165420978175 (дата обращения: 13.01.2023).
4. Схемы и их выполнение [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1901620/> (дата обращения: 5.04.2023);
5. Назначение функциональных схем [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7211248/page:3/> (дата обращения: 10.04.2023);
6. Коновалов В. И. Идентификация и диагностика систем: учебное пособие / В.И. Коновалов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010;
7. Суходоев М. С. / сост. О.С. Вадутов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014;
8. Вадутов О. С. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера-Никольса: методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов/ сост. О.С. Вадутов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014;
9. ТК РФ. Раздел IV. Рабочее время Глава 15. Общие положения. Статья 91 (дата обращения: 11.05.2023);

10. ТК РФ. Раздел X. Охрана труда. Глава 34. Требования охраны труда. Статья 215 (дата обращения: 11.05.2023);
11. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата обращения: 11.05.2023);
12. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования (дата обращения: 11.05.2023);
13. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (дата обращения: 11.05.2023);
14. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (дата обращения: 13.05.2023);
15. ГОСТ Р 51337-99 Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей (дата обращения: 13.05.2023);
16. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 (дата обращения: 13.05.2023);
17. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата обращения: 13.05.2023);
18. Электронные отходы: проблемы для окружающей среды и способы утилизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://recycle.net/othody/vidy/elektronnye-problemy-dlya-okruzhayushhej-sredy-i-sposoby-utilizatsii> (дата обращения: 30.04.2023);
19. ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутисодержащих устройств и приборов (дата обращения: 13.05.2023);

20. ГОСТ Р 70146-2022 Ресурсосбережение. Отходы электроники и электробытовой техники. Общие требования к организациям, осуществляющим деятельность по сбору, транспортированию, обработке и утилизации отработавшего электрического и электронного оборудования (дата обращения: 30.04.2023);

21. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями)» (дата обращения: 13.05.2023);

22. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изм. и доп., вступ. в силу с 31.07.2018) (дата обращения: 13.05.2023);

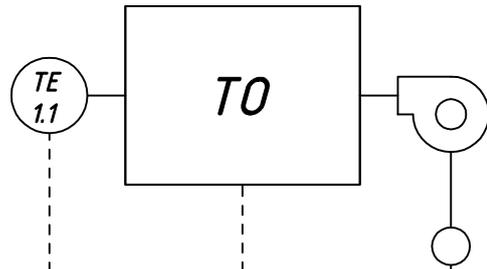
23. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (дата обращения: 18.05.2023);

24. Правила устройства электроустановок (ПУЭ. 7-е изд.). - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003 (дата обращения: 18.05.2023);

25. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 от 31 декабря 2020 года N 2398. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (дата обращения: 18.05.2023);

26. Министерство труда и социальной защиты российской федерации. Приказ от 15 декабря 2020 года N 903н. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок (дата обращения: 18.05.2023).

Приложение А
(обязательное)
Функциональная схема автоматизации



Контроллер МС 8.301	AI				
	AO				
	DI				
	DO				
	USB				
SCADA					
					Мониторинг
					Регистрация
					Управление

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Неволина			
Пров.	Скороспешкин			

ФЮРА .410146.015

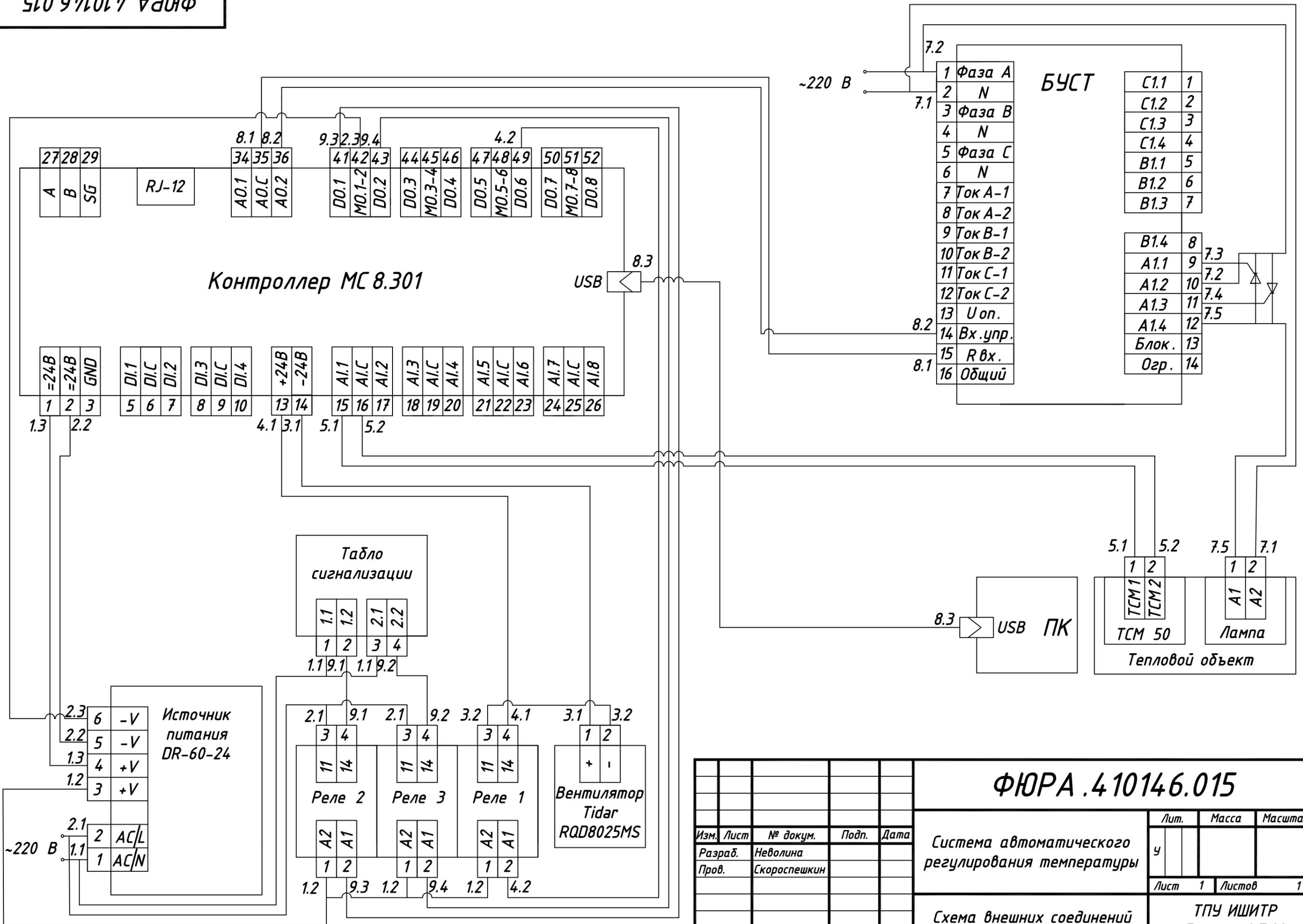
Система автоматического регулирования температуры

Функциональная схема автоматизации

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 1	Листов 1	

ТПУ ИШИТР
Группа 8 Т 92

**Приложение Б
(обязательное)
Схема внешних соединений**



ФЮРА.410146.015				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Неволина			
Пров.	Скороспешкин			
Система автоматического регулирования температуры				Лит. у
Схема внешних соединений				Лист 1 Листов 1
ТПУ ИШИТР Группа 8 Т 92				

**Приложения В
(обязательное)**

Методическое обеспечение лабораторной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИШИТР

_____ А.С. Фадеев

« ____ » « _____ » 2023 г.

Е.С. Неволина

**Система автоматического регулирования
температуры на базе программно-технического
комплекса Контар**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Локальные системы управления» для студентов IV курса,
обучающихся по направлению 15.03.04
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Издательство
Томского политехнического университета
2023

УДК 681.536.5:621.3.049.77

Неволина Е.С.

Система автоматического регулирования температуры на базе программно-технического комплекса КОНТАР: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Локальные системы управления» для студентов IV курса, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / Е.С.Неволина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – 35 с.

УДК 681.536.5:621.3.049.77

Рецензент

Доцент отделения автоматизации и робототехники ТПУ, к.т.н. В.Н. Скороспешкин

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2023
© Неволина Е.С.

Цель работы: Знакомство с аппаратной реализацией на базе промышленного контроллера MC8.301, входящего в состав ПТК КОНТАР системы автоматического регулирования температуры. Получение навыков составления математической модели объекта управления и определение параметра настройки регулятора. Получение навыков разработки программ аналогового регулирования для промышленного контроллера на языке FBD на примере программы регулирования температуры на базе ПТК КОНТАР.

1 Описание программно-технического комплекса КОНТАР

Программно-аппаратный комплекс (ПТК) КОНТАР представляет собой комбинацию контроллера, микропроцессорного устройства автоматизации и программного обеспечения для программирования контроллера, сбора данных, управления процессами и удаленной диспетчеризации.

ПТК включает в себя свободно программируемый логический контроллер, программное обеспечение и средства конфигурирования. Возможна интеграция с системами автоматизации других производителей. Свободно программируемый контроллер помогает решать широкий спектр задач, от контроля параметров оборудования до полной автоматизации, включая распределённые объекты.

1.1 Аппаратная часть ПТК КОНТАР

Аппаратная часть ПТК КОНТАР состоит из программируемых логических контроллеров MC8 и MC12. Контроллер производит сбор информации от различных источников, передает полученную информацию на верхний уровень, осуществляет автоматическое регулирование параметров. Контроллеры могут быть использованы как в сети приборов КОНТАР, так и автономно.

В данной лабораторной работе используется контроллер КОНТАР-MC8.301. Внешний вид контроллера представлен на рисунке 29.

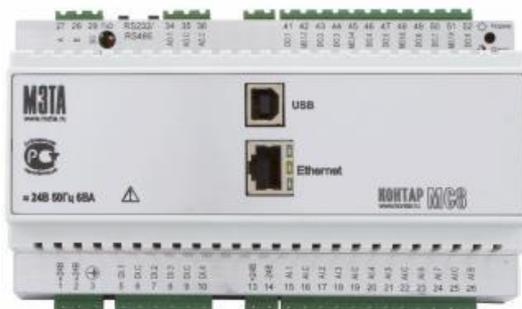


Рисунок 29 – Внешний вид КОНТАР-МС8.301

Технические параметры

В таблице 35 представлены основные технические характеристики контроллера MS8.301 и их описание.

Таблица 35 – Технические характеристики MS8.301

Характеристики	Описание
Условия эксплуатации	<ul style="list-style-type: none"> – Температура воздуха – 0-50 °С. – Относительная влажность – не более 80%. – Атмосферное давление – 86-106,7 кПа.
Питание	<ul style="list-style-type: none"> – Напряжение – 24 В постоянного тока (допускается 11-36 В) или 24 В переменного тока с частотой 50 Гц (допускается 12-28 В). – Потребляемая мощность – не более 7 ВА.
Конструктивное исполнение	<ul style="list-style-type: none"> – Масса – не более 0.8 кг. – Монтаж на DIN-рейку 35мм. – Подключение внешних соединений: <ul style="list-style-type: none"> – 41 клемма под винт. – разъем RJ-45 для подключения Ethernet; – разъем RJ-11 для подключения интерфейса RS232; – разъем RJ-12 для подключения интерфейса RS232 либо RS485; – разъем USB для подключения к ПК.
Индикация	<ul style="list-style-type: none"> – Светодиод статуса контроллера "Норма/Отказ". Постоянное свечение – при нормальной работе, мигание – при отказе, а также при загрузке и отключении алгоритма. – Светодиоды "RS485-прием", "RS485-передача".
Источник постоянного тока	<ul style="list-style-type: none"> – Напряжение – 24 В. – Допускаемое отклонение – от 22 до 25.5 В. – Ток нагрузки – не более 80 мА.

Продолжение таблицы 35 – Технические характеристики МС8.301

Характеристики	Описание
Память	<ul style="list-style-type: none"> – Для алгоритма и его описания, постоянная – 44 Кбайт. – Для планировщика, постоянная – 3 Кбайт. – Для архивирования, постоянная – 30 Кбайт. – Для хранения вычисляемых параметров, энергонезависимая – 56 байт (не менее 300 часов).

Входы и выхода контроллера, а также подключаемые устройства представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Характеристики каналов ввода/вывода

Каналы	Количество входов/выходов	Входной/выходной сигнал и подключаемые устройства
Дискретные входы	4	Требования к внешнему ключу: <ul style="list-style-type: none"> – Рабочее напряжение – не менее 5 В. – Коммутируемый постоянный ток – не менее 10 мА. – Ток утечки – не более 0.05 мА. – Частота коммутации – не более 300 Гц.
Аналоговые входы	8	<ul style="list-style-type: none"> – Датчики с выходным сигналом постоянного напряжения (0-2400мВ, 0-10В). – Датчики с выходным сигналом постоянного тока (0-20 мА, 4-20 мА). – Термопреобразователи сопротивления (50М, 100М, 50П, 100П, 500П, 1000П, 50Pt, 500Pt, 1000Pt, Ni1000, 100Н, 1000Н). – Термисторы (3к (В25/100=3990), 10к-2 (В25/100=3990 или В25/100=3980), 10к-3 (В25/100=3715), ТАС EGWS 1.8 ком).
Дискретные выходы	8	<ul style="list-style-type: none"> – Тип выхода – "сухой транзисторный ключ" – Максимальное напряжение – 48 В постоянного тока – Коммутируемый ток – от 0.01 до 0.15 А постоянного тока. – Падение напряжения на открытом ключе – не более 1.2 В.
Аналоговые выходы	2	Диапазон сигнала: <ul style="list-style-type: none"> – 0(4)-20 мА постоянного тока на нагрузку не более 0.5 кОм. – 0-5 мА постоянного тока на нагрузку не более 2 кОм. – 0-10 В постоянного тока на нагрузку не менее 2 кОм.

Функциональные возможности контроллера

Контроллер МС8.301 имеет следующие функциональные возможности:

- Измерение сигналов, поступающих от аналоговых и дискретных датчиков технологических параметров.
- Формирование дискретных и аналоговых выходных сигналов для управления исполнительным оборудованием.
- Реализацию алгоритмов функционирования, необходимых для управления конкретными технологическими процессами.
- Архивирование событий во внутренней памяти контроллера.
- Контроль и изменение значений параметров с помощью встроенного или внешнего пульта управления или персонального компьютера (ПК).
- Автоматическое изменение параметров с помощью планировщика.
- Формирование, хранение и передача аварийных сигналов.
- Поддержка различных видов интерфейсной связи:
 - RS485 для объединения в сеть с другими приборами КОНТАР;
 - RS232 или RS485 (на выбор);
 - RS232/USB/Ethernet (в зависимости от исполнения) для наладки и диспетчеризации.
- Обеспечение функций приборов приемно-контрольных охранно-пожарных и приборов пожарных управления в системах газового, порошкового и аэрозольного пожаротушения, а также в системах противодымной защиты зданий и сооружений согласно НПБ 75-98.

Функциональная схема контроллера МС8.301

Схема ПЛК МС8.301 представлена на рисунке 30.

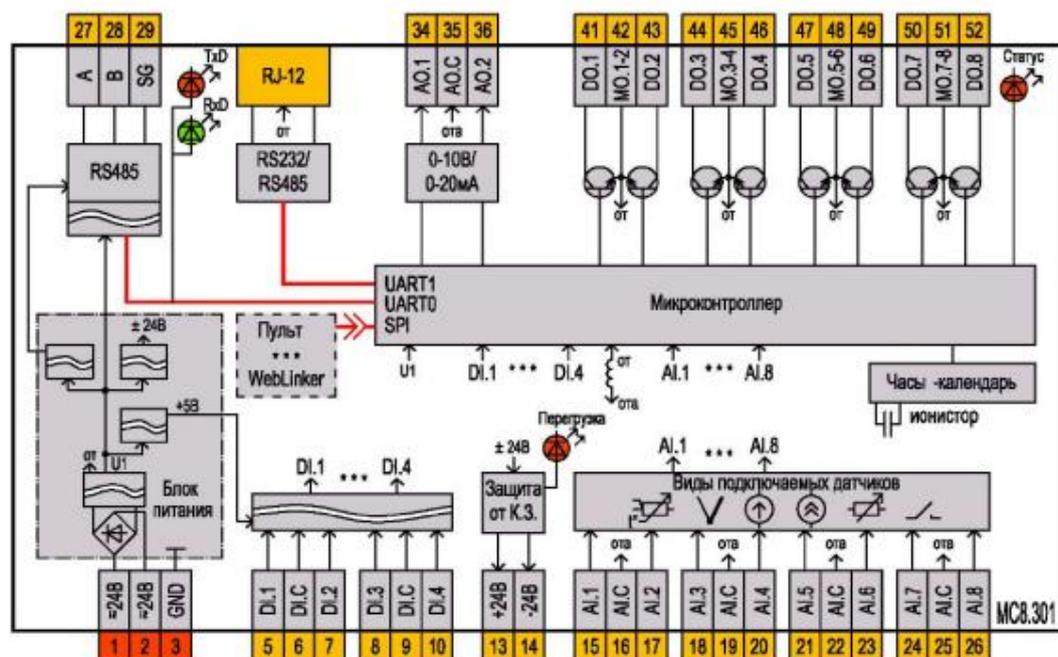


Рисунок 30 – Функциональная схема контроллера КОНТАР-МС8.301

На функциональной схеме используются следующие обозначения:

- Узлы, показанные пунктиром, являются переменными данными.
- АС - общая точка аналоговая.
- ДС - общая точка цифровая.
- АI - аналоговый вход.
- АО - аналоговый выход.
- АI.С - общая точка аналоговых входов.
- АО.С - общая точка аналоговых выходов.
- DI - дискретный вход.
- DO - дискретный выход.
- DI.С - общая точка дискретных входов.
- МО.j-k - средняя точка между DO.j и DO.k.

На данном стенде к контроллеру подключены вентилятор, БУСТ, блок питания и ПК. Питание 24 В поступает на 1 и 2 вход контроллера. С дискретного выхода контроллера DO.6 поступает сигнал на вентилятор. На аналоговый вход AI.1 поступает сигнал с датчика температуры ТСМ 50М. А с аналогового выхода АО.2 контроллера поступает управляющее воздействие на БУСТ, после чего оно поступает на тепловой объект напряжением 0-10 В.

1.2 Программное обеспечение ПТК КОНТАР

В состав программного обеспечения ПТК КОНТР входят следующие инструменты:

- КОНГРАФ – это среда разработки, которая используется для создания программ для контроллера.
- КОНСОЛЬ – это программа для управления работой контроллера или сети контроллеров в режиме реального времени.
- КОНТАР АРМ – программа, представляющая станцию оператора для локального мониторинга за процессом и диспетчеризации;
- SCADA – программа для удаленной диспетчеризации процесса;
- дополнительное ПО.

1.2.1 Программа КОНГРАФ

КОНГРАФ – это программное обеспечение для разработки алгоритмов управления. С его помощью вы можете создавать проекты для нескольких контроллеров, используя язык функциональных диаграмм и встроенную библиотеку функций. После компиляции и создания исполняемого файла он загружается в контроллер и запускается на выполнение. Таким образом, КОНГРАФ предоставляет возможность отладить алгоритм перед установкой его в контроллер для повышения надежности и эффективности системы управления.

Внешний вид основного интерфейса представлен на рисунке 31.

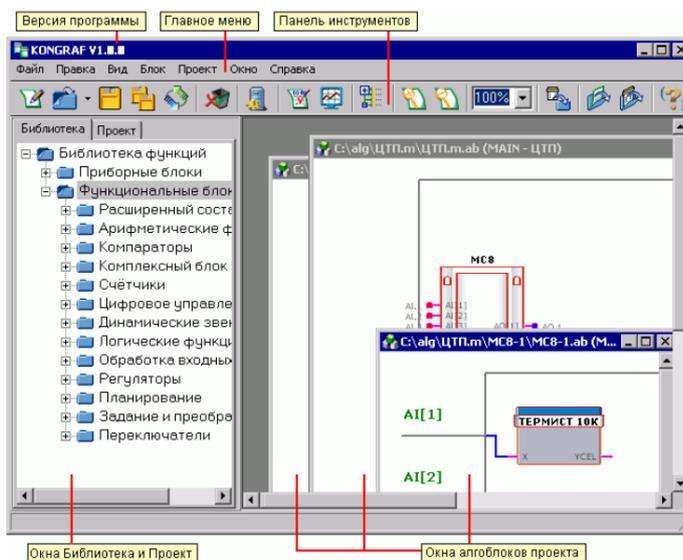


Рисунок 31 – Внешний вид среды КОНГРАФ

Элементы интерфейса включают в себя следующие разделы:

1. Главное меню – содержит основные функции и настройки приложения, такие как "Файл", "Редактировать", "Вид" и т.д.

2. Панель инструментов – позволяет быстро получить доступ к часто используемым функциям, таким как "Сохранить", "Отменить", "Копировать" и т.д. Обычно расположена в верхней части окна.

3. Окна алгоблоков – позволяют разрабатывать алгоритмы для алгоблоков, которые могут содержать различные функции и переменные. Эти окна могут содержать как визуальное представление алгоблока, так и его код.

4. Окно «Проекты» - отображает список ранее созданных проектов в папке проектов и используется для выбора нужного проекта. Окно автоматически закрывается после выбора проекта или его открытия.

5. Окно «Библиотека» - содержит библиотеку функций с доступными стандартными и пользовательскими алгоритмическими блоками. Окно открывается только после создания проекта или выбора существующего.

6. Окно «Проект» - отображает структуру проекта с использованием алгоритмических блоков, за исключением первичных функциональных блоков. Окно становится доступным после создания проекта и выбора определенного блока.

7. Контекстное меню - вызывается при нажатии правой кнопки мыши на объекте и содержит доступные опции для данного объекта.

1.2.2 Программа КОНСОЛЬ

КОНСОЛЬ – это программа для настройки и управления контроллером КОНТАР, который может быть подключен к компьютеру через интерфейс RS232, USB или Ethernet.

Программа позволяет управлять всеми входными и выходными сигналами, устанавливать новые значения параметров, переключать выходы в ручной режим и программировать действия контроллера. Программа также позволяет контролировать ошибки, текущее время и дату, загружать новый функциональный алгоритм и управлять временными диаграммами изменений параметров.

2 Состав и структура лабораторного стенда

Данный лабораторный стенд обеспечивает непрерывное регулирование температуры. Он позволяет получить навыки работы с ПТК КОНТАР, знакомиться с режимами работы контроллера, способами задания параметров регулятора и видами графического представления информации о работе системы регулирования, а также изучить организацию ввода и вывода сигналов. В состав лабораторного стенда входят:

- контроллер КОНТАР-МС8.301;
- блок питания;
- датчик температуры (50М);
- нагревательный элемент (лампа накаливания);
- вентилятор;
- блок управления симисторами и тиристорами (БУСТ);
- устройство сигнализации.

Структурная схема стенда представлена на рисунке 32.

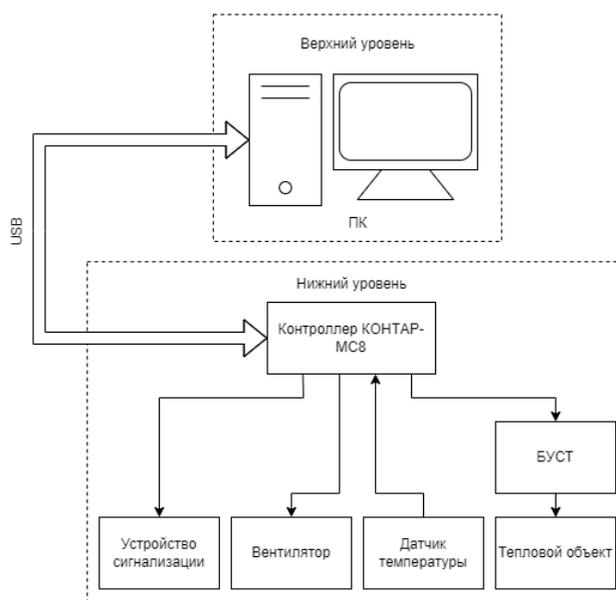


Рисунок 32 – Структурная схема лабораторного стенда

Для подключения компьютера используется интерфейс USB. Персональный компьютер используется для создания и передачи на контроллер управляющих программ, а также управления процессом с помощью приложения КОНСОЛЬ или КОНТАР АРМ.

2.1 Блок управления тиристорами и симисторами

Блок управления симисторами и тиристорами (БУСТ) регулирует мощность активной нагрузки. Его можно использовать для управления различными электрическими устройствами, такими как электронагреватели, кондиционеры, электродвигатели и т.д. Внешний вид блока представлен на рисунке 33.



Рисунок 33 – Внешний вид БУСТА

БУСТ имеет следующие функциональные возможности:

- автоматическое регулирование мощности активной нагрузки с помощью сигналов управления 0(4)-20 мА, 0-5 мА, 0-10 В, поступающих от регулятора;
- ручное регулирование мощности с помощью внешнего переменного резистора 10 кОм;
- два метода управления симисторами или тиристорами, в зависимости от инерционности нагрузки и уровня помех в сети;
- защита силовых тиристорov или симисторов при возникновении аварийных ситуаций: короткого замыкания или превышения номинального тока в нагрузке (с использованием внешних трансформаторов тока);
- плавный выход на заданный уровень мощности для предотвращения резких перегрузок питающей сети;
- светодиодная индикация уровня мощности (10 уровней от 0 до 100 процентов);
- возможность внешней блокировки управления нагрузкой;
- работа с одно-, двух- и трехфазной нагрузкой.

БУСТ может применяться для автоматического регулирования мощности активной нагрузки. В данном лабораторном стенде БУСТ с помощью тиристорov управляет напряжением на тепловом объекте. Он подключен ко второму аналоговому выходу контроллера. Питание блока – 220 В.

В настоящей работе в качестве входного сигнала, определяющего величину тока, протекающего по нагревательному элементу, выбран сигнал в виде напряжения, меняющийся в диапазоне от 0 до 10В. В программе КОНСОЛЬ в режиме ручного управления данный сигнал представлен в виде процента. Сигналу величиной 10 В соответствуют 100 процентов.

2.2 Структурная схема системы автоматического регулирования

Система автоматического регулирования температуры состоит из ПИД-регулятора, объекта управления (ОУ), БУСТа и датчика температуры. Из

заданного значения температуры вычитается текущее значение, поступающее с датчика температуры. Далее сигнал рассогласования поступает на ПИД-регулятор, который выдает управляющее воздействие в виде напряжения на объект управления. Выходом ОУ является температуры, которая измеряется датчиком. Структурная схема системы автоматического регулирования приведена на рисунке 34.

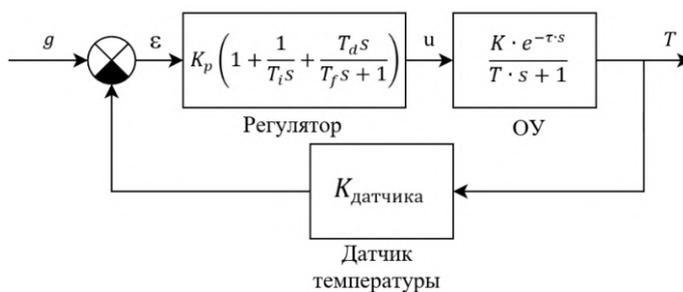


Рисунок 34 – Структурная схема САР

На рисунке приведены следующие обозначения:

- g – задание;
- ε – сигнал рассогласования;
- u – управляющее воздействие;
- T – температура объекта.

Так как текущие значения температуры, измеренные ТСМ 50 и переданные в единицах сопротивления на контроллер, программно преобразуются обратно в температуру, представленную в градусах Цельсия, то задание g , которое также задается программно, выражается в градусах Цельсия.

3 Задание

1. Составить программу регулирования температуры, содержащую первичную обработку информации.
2. Получить кривую разгона и определить модель объекта управления.
3. Определить параметры настройки ПИД-регулятора.
4. Получить кривую переходного САР процесса с ПИД-регулятором.
5. Определить перерегулирование и время переходного процесса.
6. Оформить отчет по лабораторной работе.

4 Методические указания по выполнению лабораторной работы

4.1 Создание программы регулирования температуры

Для создания программы аналогового регулирования температуры необходимо открыть ПО КОНГРАФ. Чтобы создать новую программу необходимо зайти в меню «Файл», после чего выбрать команду «Создать» (рисунок 35).

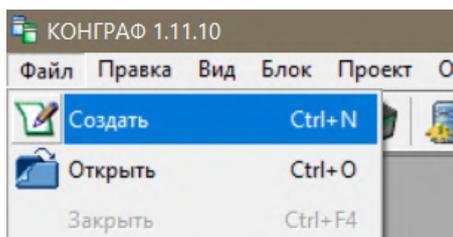


Рисунок 35 – Создание программы

После этого необходимо задать имя проекта (произвольно) и его тип – Kontar (рисунок 36).

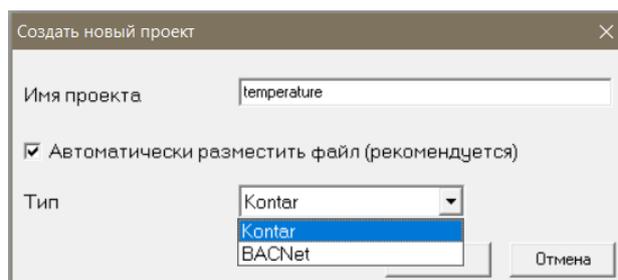


Рисунок 36 – Выбор имени и типа проекта

Далее в библиотеке функций в разделе «Приборные» блоки нужно перейти в раздел «Контроллеры», выбрать Контроллер MC8 и, удерживая, перенести его в рабочее поле (рисунок 37).

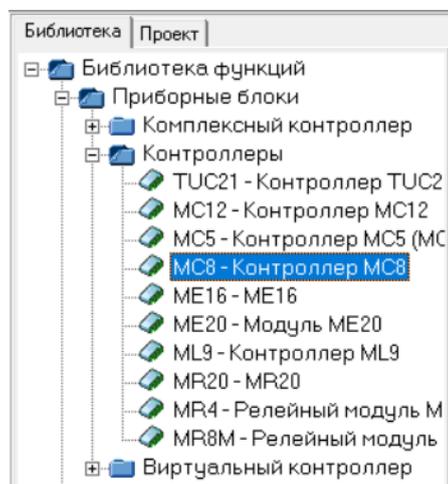


Рисунок 37 – Выбор контроллера

После перетаскивания требуется задать имя прибора (произвольно) и выбрать его тип – Контроллер MC8 (рисунок 38).

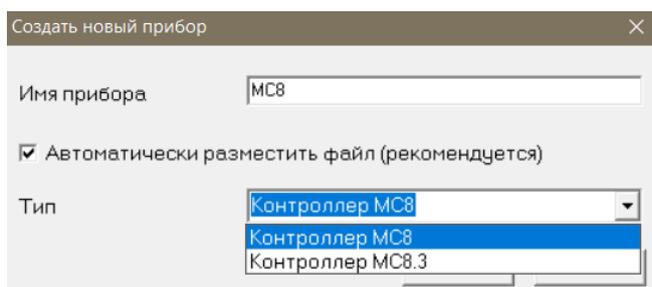


Рисунок 38 – Выбор имени и типа прибора

Так как в данном проекте используется только один контроллер, то необходимо установить тип контроллера Master. Для этого нужно двойным щелчком левой кнопки мыши нажать на контроллер и перейти в раздел «Свойства». Далее в графе «Тип» необходимо изменить значение Slave на Master, после чего закрыть окно «Свойства» (рисунок 39).

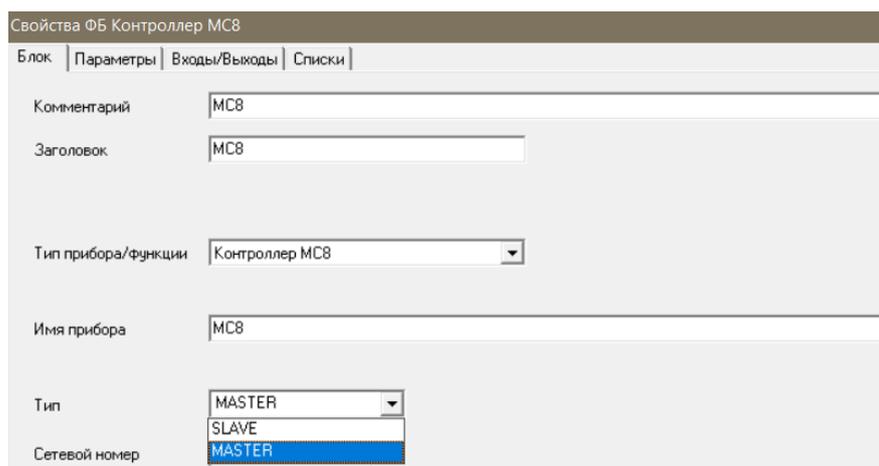


Рисунок 39 – Настройка типа Master

После этого двойным щелчком левой кнопки мыши необходимо нажать на контроллер и открыть рабочую область для программирования.

Следующим шагом нужно выбрать из дерева функций необходимые элементы и перенести их на рабочую область.

Измерение температуры лампы происходит с помощью блока TCM 50. Данный блок находится в библиотеке элементов, в «Функциональные блоки», в разделе «Термометры сопротивления», «Двухпроводное соединение», «Без сигнализации». Данный блок необходимо перенести в рабочую область и

подключить его входы к входам контроллера AI[1] и AI[2]. Подключение блока приведено на рисунке 40.

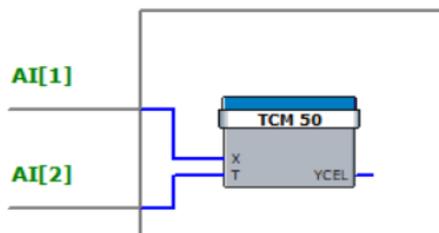


Рисунок 41 – Подключение блока TCM 50

Параметры блока представлены на рисунке 41.

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Входное напряжение, мВ
T	Вход	аналог.	Температура окружающей среды, °С
RC	Вход	аналог.	Сопротивление линии при калибровке, Ом
TC	Вход	аналог.	Температура окружающей среды при калибровке, °С
B	Вход	аналог.	Температурный коэффициент проводимости, 1/°С
YCEL	Выход	аналог.	Измеренная температура, °С
YFAR	Выход	аналог.	Измеренная температура, °F

Рисунок 41 – Параметры блока TCM 50

Данный блок учитывает сопротивления провода, которым датчик подключен к контроллеру, и корректирует полученное значение температуры.

Далее, для обеспечения первичной обработки информации необходимо провести фильтрацию сигнала и проверить на достоверность по пороговым значениям и скорости изменения сигнала.

Для фильтрации сигнала используется алгоблок **ФИЛЬТР**, который находится в разделе «Динамические звенья». Вид блока и его параметры фильтра приведены на рисунках 42-43.



Рисунок 42 – Вид блока ФИЛЬТР

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Вход
TF	Вход	аналог.	Постоянная времени фильтра, сек
Y	Выход	аналог.	Выход

Рисунок 43 – Параметры фильтра

Данный блок выполняет функцию выделения полезного сигнала и описывается аperiodическим звеном.

Для проверки на достоверность информации по максимально и минимально возможному значению температуры необходимо сравнить текущее значение, поступающее с блока **ФИЛЬТР**, с данными порогами. Для этого понадобится алгоблок **БОЛЬШЕ**, который находится в разделе «Математические функции», раздел «Для аналоговых величин», и алгоблок **ЗДН АН**, находящийся в разделе «Задания и преобразователи типов». Внешний вид и параметры блока приведены на рисунках 44-45.

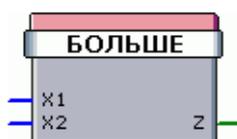


Рисунок 44 – Вид блока БОЛЬШЕ

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X1	Вход	аналог.	Вход 1
X2	Вход	аналог.	Вход 2
Z	Выход	логич.	Результат сравнения

Рисунок 45 – Параметры блока БОЛЬШЕ

Данный блок сравнивает две входных аналоговых величины и передает на бинарный выход Z результат сравнения: если $X1 > X2$, то $Z=1$; если $X1 \leq X2$, то $Z=0$. Поэтому для сравнения с максимальным значением на вход X1 подается текущее значение, а при сравнении с минимальным текущее значение подается на вход X2.

Сравнение происходит с заданным значением, которое задается с помощью блока **ЗДН АН**. Внешний вид и параметры блока приведены на рисунках 46-47.



Рисунок 46 – Вид блока ЗДН АН

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Вход
Y	Выход	аналог.	Выход

Рисунок 47 – Параметры блока ЗДН АН

Данный алгоблок предназначен для задания аналоговой уставки на входах используемых в алгоритме других алгоблоков. Алгоблок копирует значение, заданное на входе X, на выход Y. Максимальный предел температуры равен 90. Для установки данного значения необходимо перейти в «Свойства блока», в раздел «Параметры», выбрать вход X и установить галочку напротив «Константа», а в поле «Значение» вписать 90 (рисунок 48).

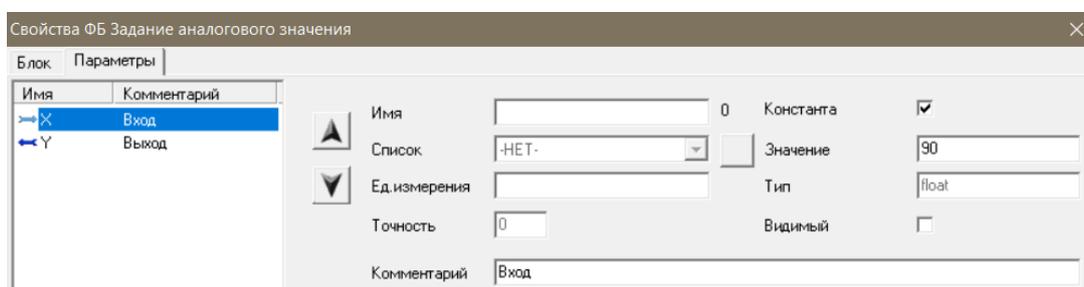


Рисунок 48 – Установка значения

Аналогично установить значение минимального предела равным 10.

Для проверки достоверности сигнала по скорости необходимо использовать блок дифференцирования ДИФФ. Внешний вид и параметры блока приведены на рисунках 49-50.



Рисунок 49 – Вид блока ДИФФ

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Вход
Set	Вход	аналог.	Ручное задание
OVR	Вход	логич.	Включение ручного задания
Freeze	Вход	логич.	«Замораживание» выхода
K	Вход	аналог.	Коэффициент передачи
Y	Выход	аналог.	Выход

Рисунок 50 – Параметры блока ДИФФ

Данный алгоблок представляет собой идеальное дифференциальное звено. В случае, если скорость изменения сигнала высока, что может

свидетельствовать о его недостоверности, то модуль дифференциала от изменения скорости также будет большой. Алгоблок **МОДУЛЬ** находится в разделе «Математические функции», раздел «Для аналоговых величин». Внешний вид и параметры блока приведены на рисунках 51-52.



Рисунок 51 – Вид блока МОДУЛЬ

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
X	Вход	аналог.	Вход
Y	Выход	аналог.	Модуль

Рисунок 52 – Параметры блока МОДУЛЬ

Далее, для сравнения используются описанные выше алгоблоки **БОЛЬШЕ** и **ЗДН АН**. Значение для блока **ЗДН АН** установить равным 100.

Так как информация считается недостоверной как в случае выхода значения температуры за возможные пределы, так и в случае слишком большой скорости изменения сигнала, то для объединения этих параметров необходимо воспользоваться блоком **ИЛИ**, который находится в разделе «Логические функции», в «Основные функции». Внешний вид и параметры блока приведены на рисунках 53-54.



Рисунок 53 – Вид блока ИЛИ

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
Q[i]	Входы	логич.	Входы. Кол-во входов может быть от 2 до 255
Z	Выход	логич.	Выход

Рисунок 54 – Параметры блока ИЛИ

Алгоблок выполняет функцию логического сложения всех входов. Если хотя бы один из входов Q равен 1, то Z=1, в противном случае Z=0. Полученный сигнал в результате логического сложения необходимо подключить к первому дискретному выходу DO[1] для сигнализации в случае

недостовой информации (рисунок 55). Данный дискретный выход подключен к красной лампочке на стенде.

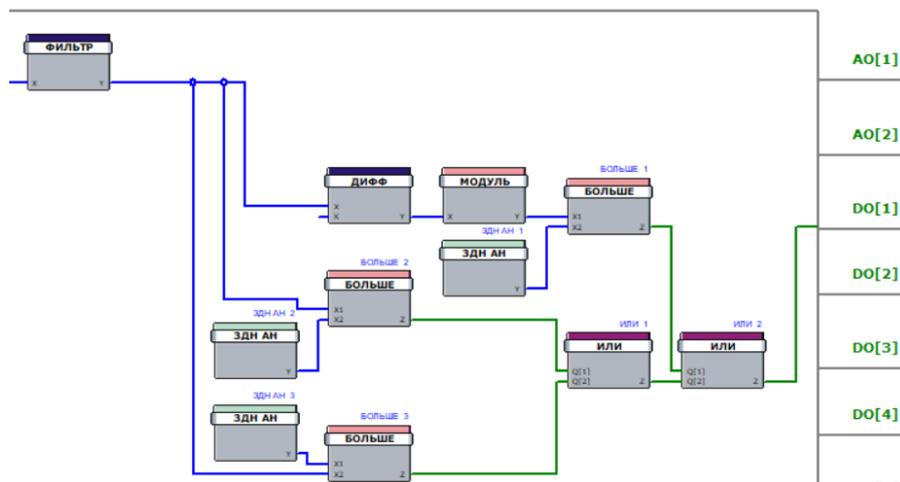


Рисунок 55 – Соединение блоков для первичной обработки информации

В ходе лабораторной работы температура объекта должна находиться в пределах 20 – 50 градусов. В случае выхода значения температуры за данные пороги необходима сигнализация. Для этого добавим сравнение значения текущей температуры с порогами с помощью блоков **ЗДН АН** и блоков **БОЛЬШЕ** аналогично сравнению температуры при проверке достоверности информации. После чего через блок **ИЛИ** выведем полученный сигнал на второй дискретный выход DO[2], который подключен к зеленой лампочке на стенде (рисунок 56).

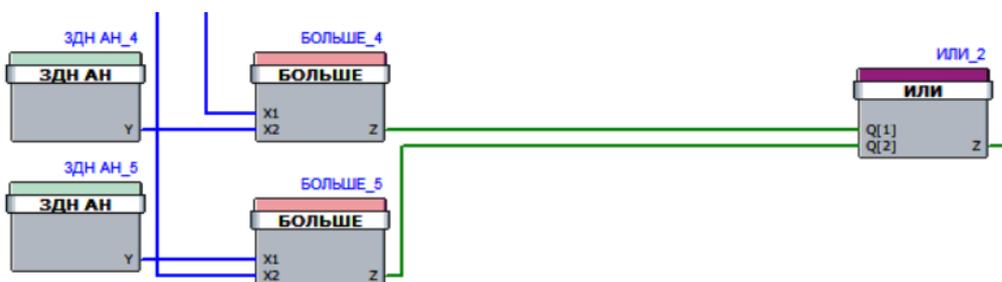


Рисунок 56 – Соединение блоков для реализации сигнализации

Регулирование температуры производится с помощью блока аналогового ПИД-регулятора **ПИД АНГЛ Р** (рисунок 57-58).

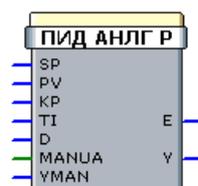


Рисунок 57 – Вид блока ПИД АНГЛ Р

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
SP	Вход	аналог.	Задание
PV	Вход	аналог.	Регулируемый параметр
TF	Вход	аналог.	Постоянная времени фильтра
KP	Вход	аналог.	Коэффициент пропорциональности
TI	Вход	аналог.	Постоянная времени интегрирования
D	Вход	аналог.	Коэффициент ввода дифференциальной составляющей
DZONE	Вход	аналог.	Зона нечувствительности
YBOT	Вход	аналог.	Нижний предел
YTOP	Вход	аналог.	Верхний предел
MANUAL	Вход	логич.	Установить уставку
YMAN	Вход	аналог.	Уставка
ACTION	Вход	логич.	Направление действия (FALSE - прямое, TRUE - обратное)
E	Выход	аналог.	Значение рассогласования
Y	Выход	аналог.	Выход
YULM	Выход	аналог.	Выход без ограничения

Рисунок 58 – Параметры блока ПИД АНГЛ Р

Данный алгоблок предназначен для управления по ПИД-закону регулирования пропорциональным исполнительным механизмом или аналоговым усилителем мощности. Для открытия окна с параметрами блока и редактирования значения входов или выходов необходимо правой кнопкой мыши нажать на блок и выбрать «Свойства», после чего перейти во вкладку «Параметры». Для открытия внутренней схемы блока необходимо дважды нажать на данный алгоблок. Схема представлена на рисунке 59.

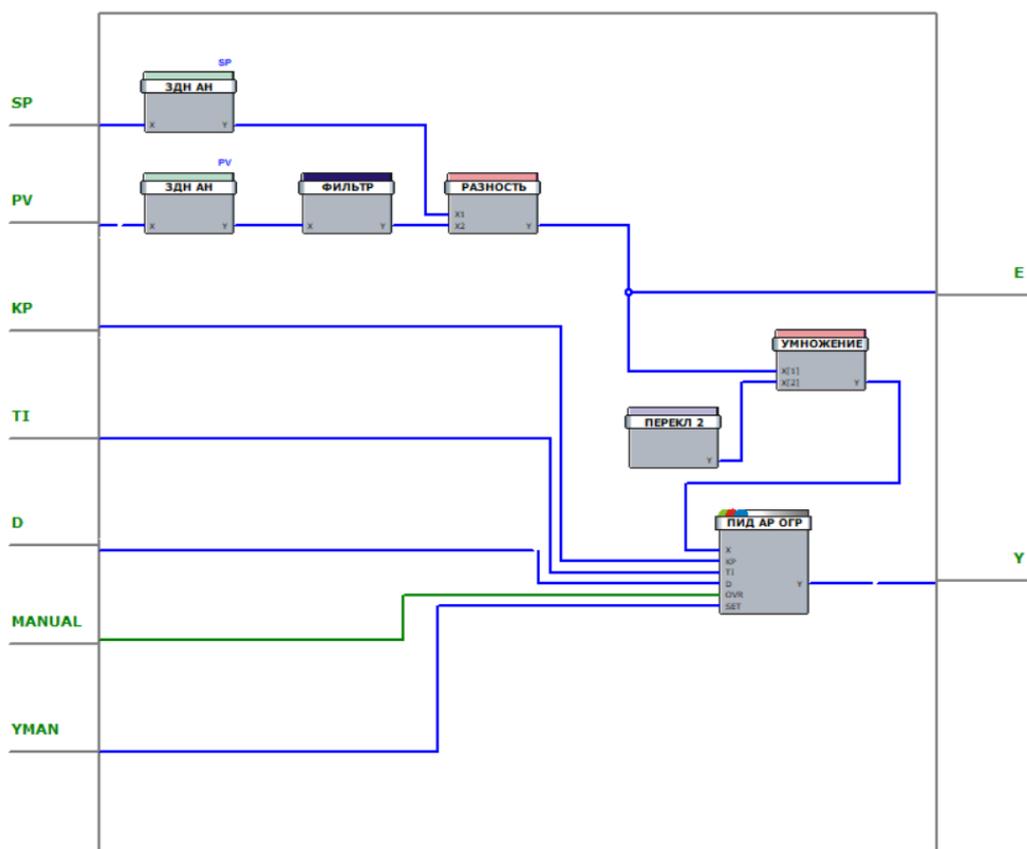


Рисунок 59 – Схема блока ПИД-регулятора

В состав алгоблока входят следующие элементы:

- РАЗНОСТЬ – для вычисления величины рассогласования;
- ФИЛЬТР – для фильтрации регулируемого параметра;
- ЗОНА НЕЧ – для формирования зоны нечувствительности регулятора;
- ПИД-регулятор – основной элемент;
- ограничитель выхода.

Выход Y блока ПИД-регулятора, выдающий управляющее воздействие, необходимо подключить ко второму аналоговому выходу [АО1].

Для быстрого охлаждения объекта на стенде предусмотрен вентилятор. Он подключен к 6 цифровому выходу контроллера DO[6]. Управление вентилятора осуществляется с помощью блока **RS-ТРИГГЕР**. Внешний вид и параметры блока приведены на рисунках 60-61.



Рисунок 60 – Вид блока RS-ТРИГГЕР

Имя	Вх/Вых	Тип	Комментарий
S	Вход	логич.	Вход установки
R	Вход	логич.	Вход сброса
Z	Выход	логич.	Выход

Рисунок 61 – Параметры блока RS-ТРИГГЕР

Алгоблок выполняет функцию RS-триггера с приоритетом по R-входу. Для выключения вентилятора на вход S данного блока необходимо подать сигнал, для выключения – необходимо подать сигнал на вход R.

Собранная программа представлена на рисунке 62

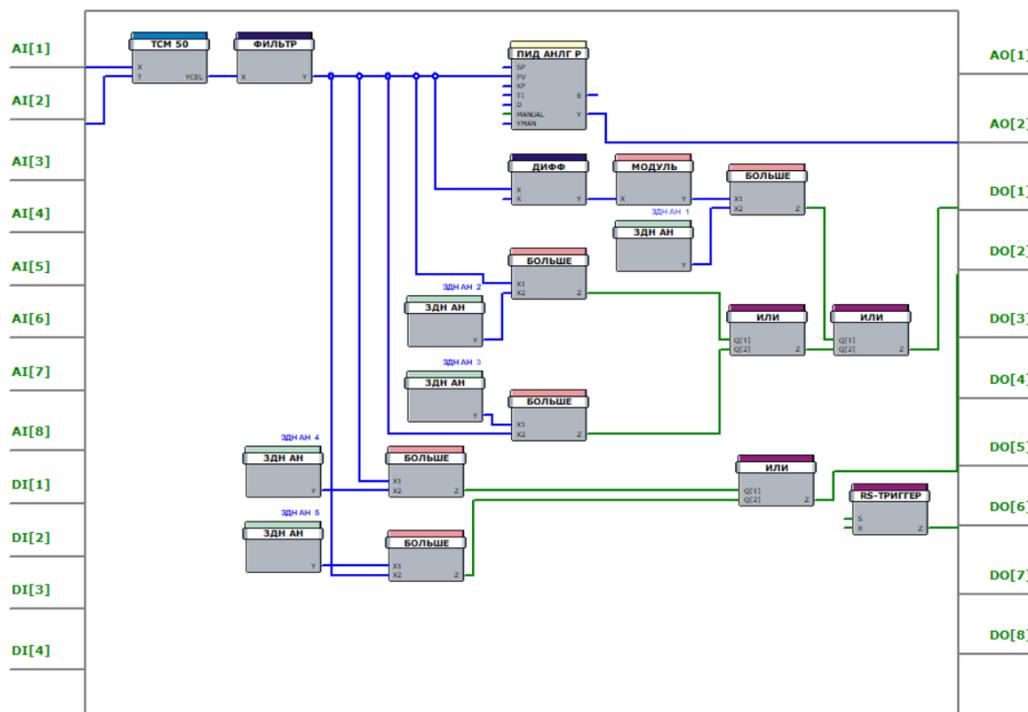


Рисунок 62 – Программа регулирования температуры

4.2 Значения параметров и их отображение

После размещения и открытия функциональных блоков необходимо задать численные значения отдельных параметров. Значения параметров для используемых функциональных блоков представлены в таблице 15.

Также для отображения параметров процесса в программе КОНСОЛЬ и их регулирования в реальном времени необходимо добавить желаемые

параметры в отдельный список. Для этого нужно открыть «Свойства» блока ФИЛЬТР и перейти в раздел «Параметры». Далее выбрать выход Y и создать новый список (рисунок 63).

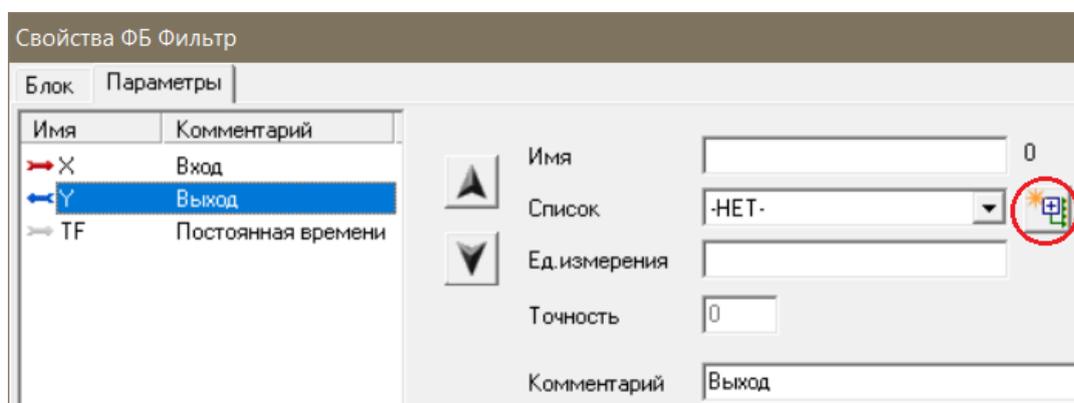


Рисунок 63 – Создание списка

Ввести имя списка «Регулирование» и нажать «Ок». После этого поменять имя выхода на «Температура». Также необходимо изменить точность отображаемого параметра на «1» (рисунок 64).

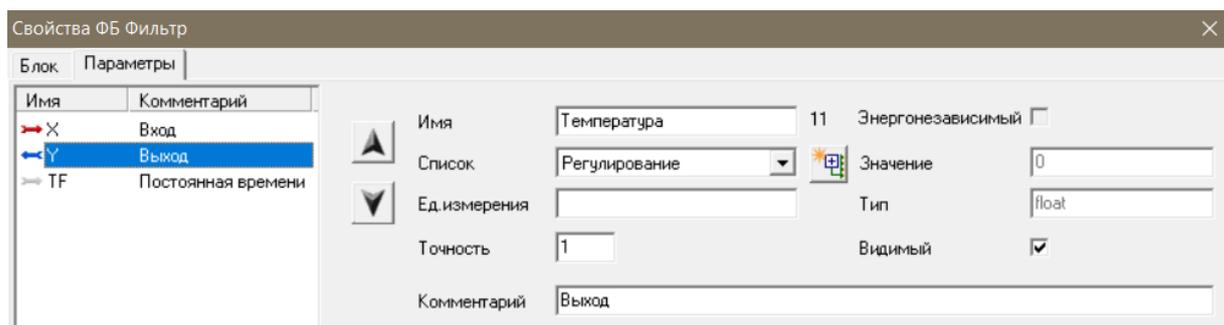


Рисунок 64 – Изменение имени

Далее таким же образом добавить в список «Регулирование» необходимые параметры в соответствии с таблицей 37.

Таблица 37 – Значения параметров

Название блока	Параметр	Значение параметра	Имя в списке «Регулирование»	Точность	Константа
ФИЛЬТР	Y	-	Температура	1	-
	TF	10	Пост. фильтра	1	-
ПИД АН Р	SP	-	Задание	1	-
	E	-	Ошибка	1	-
	DZONE	0,5	Зона нечувствительности	1	-
	KP	-	Кр	2	-

Продолжение таблицы 37 – Значения параметров

Название блока	Параметр	Значение параметра	Имя в списке «Регулирование»	Точность	Константа
ПИД АН Р	TI	-	Ti	2	-
	D	-	D	2	-
	Y	-	Управляющее воздействие	1	-
	YBOT	0	Нижний предел	1	-
	YTOP	90	Верхний предел	1	-
	MANUAL	-	Ручное управление	-	-
	YMAN	-	Уставка (ручное)	1	-
RS-ТРИГГЕР	S	-	ВКЛ вентилятор	0	-
	R	-	ВЫКЛ вентилятор	0	-
ИЛИ_2	Z	-	Недостоверная информация	0	-
ИЛИ_3	Z	-	Превышение температуры	0	-
ЗДН АН_1	X	100	-	0	+
ЗДН АН_2	X	90	-	0	+
ЗДН АН_3	X	10	-	0	+
ЗДН АН_4	X	50	-	0	+
ЗДН АН_5	X	20	-	0	+

Значения параметров ПИД-регулятора будут установлены в процессе работы в программе КОНСОЛЬ.

4.3 Компиляция проекта и загрузка в контроллер

Чтобы загрузить проект в контроллер необходимо скомпилировать его. Для этого в верхней части панели необходимо перейти в меню «Проект» и выбрать «Компилировать» (рисунок 65).

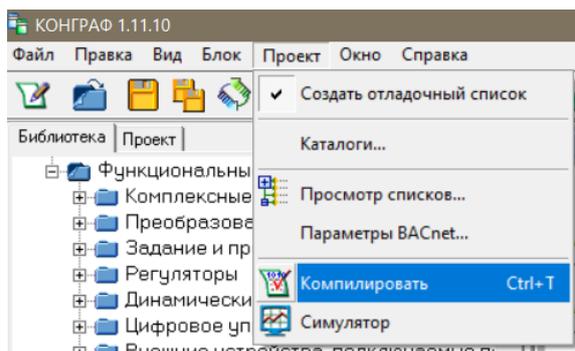


Рисунок 65 – Компиляция

После этого на экране появится сообщение о количестве ошибок и предупреждений (рисунок 66).

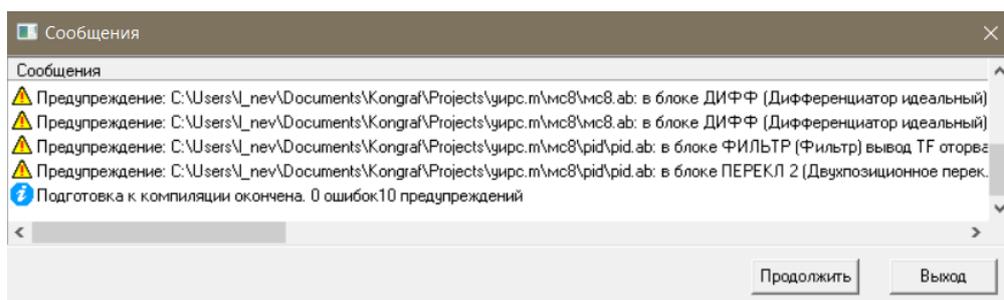


Рисунок 66 – Подготовка к компиляции

При отсутствии ошибок необходимо нажать «Продолжить» и через некоторое время появится сообщение об окончании компиляции (рисунок 67).

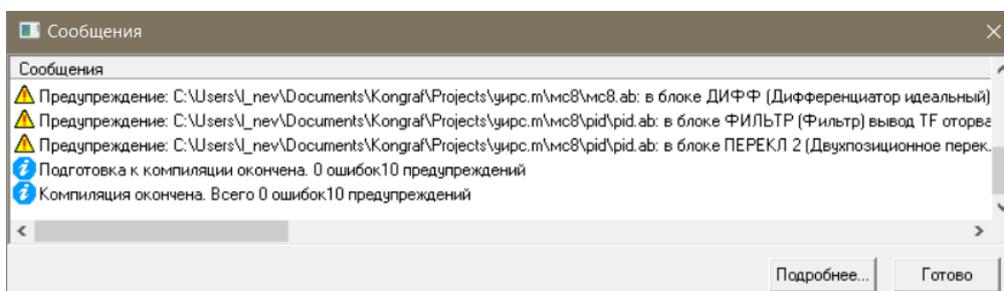


Рисунок 67 – Окончание компиляции

После этого необходимо нажать «Готово». В результате компиляции создается bin-файл, который в дальнейшем загружается в контроллер.

Для загрузки программы в контроллер необходимо открыть программу КОНСОЛЬ. В данной программе сначала требуется установить соединение с контроллером. Для этого необходимо выбрать канал COM3, после чего нажать кнопку «Установить связь» (рисунок 68).

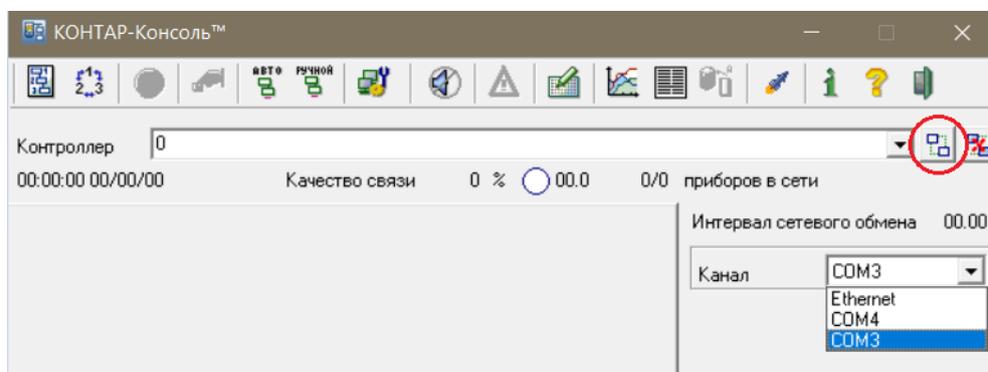


Рисунок 68 – Установка связи с контроллером

Далее требуется выбрать файл, который будет загружен в контроллер. С помощью кнопки «Загрузчик» вызывается загрузчик программ. После нажатия кнопки появится строка для выбора файла. После нажатия кнопки «Поиск» откроется окно для поиска файла. В нем необходимо найти папку с названием вашей программы, которая располагается по следующему пути: **C:\Users\User\Documents\Kongraf\Projects**. В ней появится папка с названием «1». В данной папке находится bin-файл, необходимый для загрузки (рисунок 69).

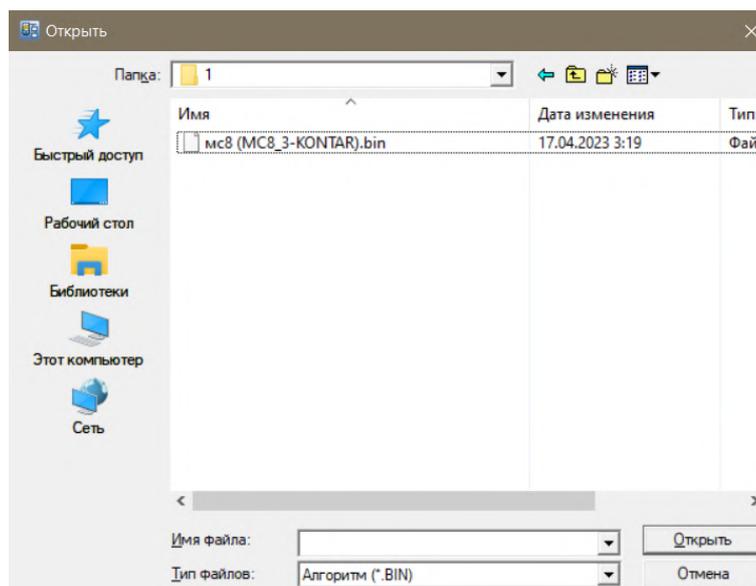


Рисунок 69 – Файл для загрузки в контроллер

Требуется выбрать данный файл, нажать «Открыть», а после «Загрузить». После загрузки программы на экране отобразится главное окно программы КОНСОЛЬ (рисунок 70).

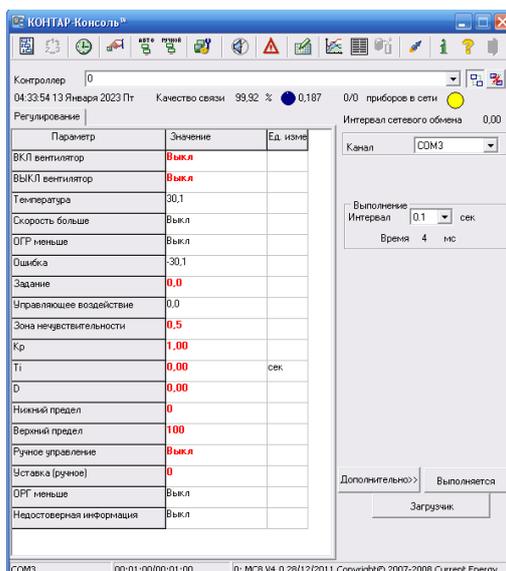


Рисунок 70 – Главный экран программы Консоль

На данном экране выведены параметры, которые были занесены в список «Регулирование». В данной программе можно в режиме реального времени менять параметры процесса, для этого необходимо нажать в поле «Значение» напротив того параметра, значение которого хотите изменить. После изменения параметра необходимо нажать «Enter».

4.4 Построение графиков кривой разгона

Для получения кривой разгона теплового объекта необходимо подать ступенчатое воздействие на объект в виде напряжения. Для этого необходимо перейти в ручное управление (рисунок 71).

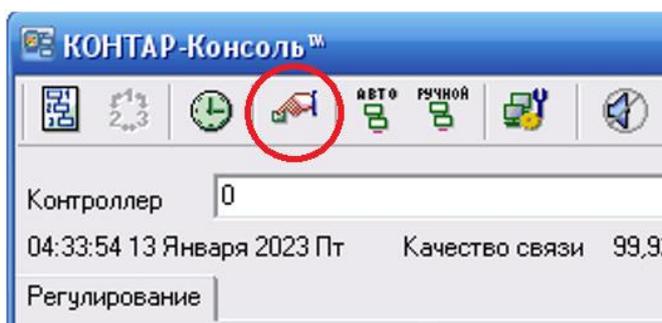


Рисунок 71 – Переход в ручное управление

После этого откроется окно контроля входов/выходов контроллера. В нем есть возможность переключения между ручным и автоматическим режимом, а также возможность управления дискретным и аналоговыми выходами. Для регулирования напряжения на 2 аналоговом выходе, к

которому подключен БУСТ, регулирующий напряжение на лампе накаливания, необходимо нажать на кнопку «Отключить все выходы в ручном режиме» и выбрать «0-10V» напряжение в разделе «Аналоговый выход 2». После этого можно будет с помощью ползунка, или вводя с клавиатуры, менять выходное напряжение. Для начала необходимо выставить значение 0 в данном разделе, и перед тем, как подать ступенчатое воздействие, открыть окно построения графика.

Для получения графика кривой разгона теплового объекта необходимо в главном экране программы «Консоль» нажать на иконку «График». После нажать в верхней части открывшегося окна на кнопку «Новый график» для получения двух областей для построения графиков. Далее двойным кликом считать список параметров и перетащить в верхнюю область параметр «Температура», а в нижнюю – «Задание». Далее необходимо установить период сбора информации равный 3 секунды, после чего запустить график (рисунок 72).

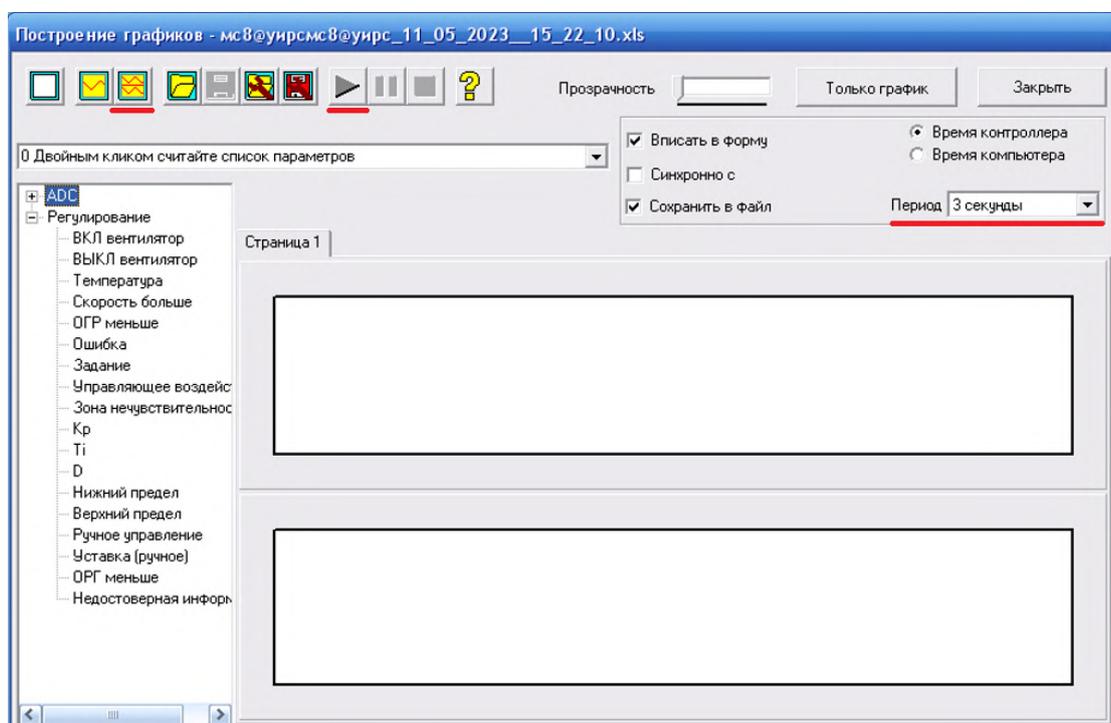


Рисунок 72 – Построение кривой разгона

Далее в окне «Контроль входов/выходов» изменить выходное напряжение на втором аналоговом выходе с 0 на 5 В, введя данное значение с

клавиатуры. Далее необходимо дождаться окончания переходного процесса, поставить график на паузу и сохранить полученную кривую. Далее в ручном режиме выставить значение напряжения на втором аналоговом выходе 0 В, перевести все выходы в автоматический режим и с главного экрана приложения КОНСОЛЬ включить вентилятор для более быстрого охлаждения объекта. После этого в соответствии с разделом 4.5 найти модель объекта управления на основе полученной кривой разгона.

4.5 Экспериментальное определение модели объекта управления

Для определения параметров регулятора необходимо знать статические и динамические характеристики объекта управления. Для этого необходимо получить математическую модель объекта на основе кривой разгона. В случае если переходная характеристика имеет выраженный апериодический характер можно построить модель в форме апериодического звена первого порядка с транспортным запаздыванием (28):

$$W(s) = \frac{K_{oy}e^{-\tau s}}{Ts + 1}, \quad (28)$$

где K_{oy} – коэффициент передачи объекта управления;

τ – время запаздывания, с;

T – постоянная времени, с.

Для определения параметров передаточной функции объекта управления по переходной характеристике требуется подать ступенчатое воздействие и получить реакцию объекта – кривую разгона. Найти параметры объекта можно проведя дополнительные построения на полученной кривой (рисунок 73).

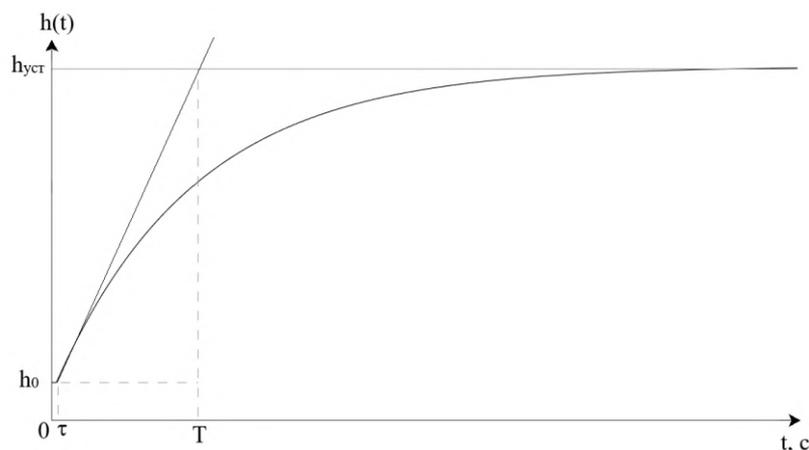


Рисунок 73 – Кривая разгона объекта с запаздыванием

Согласно рисунку 73 необходимо построить касательную к кривой разгона в точке $t=0$ и провести ее до пересечения с установившимся значением выходного параметра. Данный момент времени будет равен сумме времени запаздывания τ и постоянной времени T . Статический коэффициент передачи K равен отношению изменения выходной величины в установившемся режиме к изменению входного воздействия, которым является поданное напряжение (29):

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta u}, \quad (29)$$

где K – коэффициент передачи;

Δh – изменения выходной величины в установившемся режиме;

Δu – изменение входного воздействия.

Изменение выходной величины определяется по формуле (30):

$$\Delta h = h_{уст} - h_0, \quad (30)$$

где $h_{уст}$ – установившееся значение параметра;

h_0 – начальное значение параметра.

В данной лабораторной работе изменением выходной величины является разница между установившемся значением температуры и начальным значением, а изменением входного воздействие является разница между значением напряжения, которое подали на объект управления, и начальным значением.

Для получения передаточной функции объекта управления рассчитанные значения параметров необходимо подставить формулу апериодического звена первого порядка с транспортным запаздыванием (28).

4.6 Расчет параметров ПИД-регулятора

На основе полученной модели объекта управления можно рассчитать параметры ПИД-регулятора. На практике широко используют приближенные формулы для определения оптимальных параметров настройки регулятора. Метод используется для трех видов оптимальных типовых процессов регулирования. Данный метод применим как для статических объектов с самовыравниванием (таблица 38), так и для объектов без самовыравнивания (таблица 39).

Таблица 38 – Формульный метод определения настроек регулятора для статических объектов с самовыравниванием

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	Jmin
П-регулятор	$K_p = \frac{0.3}{K_{oy}\tau/T}$	$K_p = \frac{0.7}{K_{oy}\tau/T}$	$K_p = \frac{0.9}{K_{oy}\tau/T}$
ПИ-регулятор	$K_p = \frac{0.6}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 0.6T$	$K_p = \frac{0.7}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 0.7T$	$K_p = \frac{1}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = T$
ПИД-регулятор	$K_p = \frac{0.95}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 2.4\tau$ $T_d = 0.4\tau$	$K_p = \frac{1.2}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0.4\tau$	$K_p = \frac{1.4}{K_{oy}\tau/T}$ $T_i = 1.3\tau$ $T_d = 0.5\tau$

В данном методе предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид (31):

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right), \quad (31)$$

где K_p – коэффициент усиления регулятора;

T_i – постоянная интегрирования регулятора;

T_d – постоянная дифференцирования.

Таблица 39 – Формульный метод определения настроек регулятора для статических объектов без самовыравнивания

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	
П-регулятор	$K_p = \frac{0.4}{\tau/T}$	$K_p = \frac{0.7}{\tau/T}$	
ПИ-регулятор	$K_p = \frac{0.4}{\tau/T}$ $T_i = 6T$	$K_p = \frac{0.4}{\tau/T}$ $T_i = 3T$	$K_p = \frac{1}{\tau/T}$ $T_i = 4T$
ПИД-регулятор	$K_p = \frac{0.6}{\tau/T}$ $T_i = 5\tau$ $T_d = 0.4\tau$	$K_p = \frac{1.1}{\tau/T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0.4\tau$	$K_p = \frac{1.4}{\tau/T}$ $T_i = 1.6\tau$ $T_d = 0.5\tau$

Так как в лабораторной работе используется объект с самовыравниванием, необходимо в соответствии с таблицей 38 рассчитать параметры ПИ-регулятора.

Полученные параметры регулятора необходимо записать в главном экране программы КОНСОЛЬ. После этого дождаться охлаждения объекта регулирования до 30 градусов, запустить новый график, после чего установить значение параметра «Задание» равное 35 градусов. При изменении задания с 0 до 35 градусов можно заметить, как увеличивается управляющее воздействие, а на БУСТе загораются лампочки, отображающие величину подаваемого на объект напряжения. Полученный график переходного процесса необходимо сохранить и по нему определить прямые показатели качества процесса: время регулирования и перерегулирование.

5 Контрольные вопросы

1. Что входит в состав программно-технического комплекса КОНТАР?
2. Для каких целей возможно применение блока управления симисторами и тиристорами?
3. Опишите процесс компиляции и загрузки программы в контроллер.

4. Опишите возможности и основные параметры алгоблока ПИД-регулятора.

5. Что входит в первичную обработку информации?

6. На основе каких параметров кривой разгона происходит построение модели объекта управления?

6 Требования к отчету

Отчет должен содержать следующие пункты:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Задачи.
4. Структурная схема лабораторного стенда и его описание.
5. Программа регулирования температуры.
6. Кривая разгона.
7. Расчет модели объекта и параметров ПИД-регулятора.
8. Переходная характеристика с ПИД-регулятором.
9. Ответы на контрольные вопросы.
10. Вывод.