

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Автоматизация процесса горения котла

УДК 004.896:621.18.016:536.46

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Коробов Максим Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения

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 в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда

Код компетенции	Наименование компетенции
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 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

Код компетенции	Наименование компетенции
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 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

Код компетенции	Наименование компетенции
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

Код компетенции	Наименование компетенции
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
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

Период выполнения _____ весенний семестр 2022 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

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

 (Подпись) (Дата) Курганов В.В.
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Т8А	Коробову Максиму Сергеевичу

Тема работы:

Автоматизация процесса горения котла	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: установка физического подобия процесса горения котла. Цель работы: проектирование и сборка установки физического подобия процесса горения котла. Режим работы: постоянный.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Описание работы котельной установки; Преимущества стенда над реальной установкой; Описание работы стенда; Подбор комплектующих для реализации стенда; Алгоритм работы стенда; Сборка стенда и написание программы; Проверка работы стенда и анализ полученных результатов.
Перечень графического материала	Блок-схема алгоритма установки;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.
Социальная ответственность	Мезенцова Ирина Леонидовна, Ст. преподаватель ООД ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

-

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Коробов Максим Сергеевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т8А	Коробов Максим Сергеевич

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 37700 руб. Оклад инженера - 19200 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 16%. Районный коэффициент – 1,3.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости работ для НИ, разработка графика проведения НИ, составление бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИ.

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Коробов Максим Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 8Т8А		ФИО Коробов Максим Сергеевич			
Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники		
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04	Автоматизация	технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Автоматизация процесса горения котла

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения 	<p><i>Объект исследования: Установка физического подобию котельной установки для моделирования процесса горения и изучения зависимостей параметров системы.</i></p> <p><i>Область применения: Автоматизация нефтегазовой отрасли</i></p> <p><i>Рабочая зона: лаборатория.</i></p> <p><i>Размеры помещения (климатическая зона*): 6*8м</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, программируемый логический контроллер, паяльник, набор инструментов.</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: тестирование работоспособности стенда физического подобию, исследование эффективности реализованных на стенде решений.</i></p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</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>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022);</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения; 2. Физические статические перегрузки, связанные с рабочей позой; 3. Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой; 4. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.

	<p>Опасные факторы: 1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: средства защиты от поражения электрическим током (предохранительные устройства, устройства автоматического отключения, контроля и сигнализации), осветительные приборы и искусственные источники света, устройства для кондиционирования воздуха и отопления, обогрева и охлаждения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: попадание отходов радиоэлектронных компонентов Воздействие на литосферу: утилизация отходов при производстве составных элементов прибора; Воздействие на гидросферу: возможное попадание отходов производства компонентов в сточные воды; Воздействие на атмосферу: выбросы при производстве компонентов устройства.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:</p>	<p>Возможные ЧС: ЧС техногенного характера: пожар, взрыв. Наиболее типичная ЧС: Пожар.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Коробов Максим Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 93 страницах, содержит 18 рисунков, 13 таблиц, 26 источника литературы и 2 приложения.

Ключевые слова: газовый котёл, топка котла, моделирование, симулирование, макет, стенд, установка физического подобия

Объектом исследования является стенд физического подобия топки котла.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и создание стенда физического подобия топки котла для изучения принципов моделирования реальных систем.

В данной работе разрабатывается, создаётся и исследуется установка физического подобия, моделирующая процессы, происходящие в топке газового котла во время его работы. Проведена работа по разбору принципов работы топки реального котла и способов моделирования процессов, протекающих в ней. Были подобраны необходимые комплектующие для сборки рабочей версии макета. Для написания программы под микроконтроллер был разработан алгоритм, по которому должен работать стенд. По разработанному алгоритму была написана программа для микроконтроллера. В данной программе был реализован принцип ПИД регулирования на языке C++. Собранный стенд был настроен на необходимый технологический процесс и протестирован. Собранные данные были обработаны в виде графиков.

Для выполнения работы использовалось программное обеспечение Arduino IDE.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

Оглавление

Введение	18
1 Описание работы котельной установки	19
Проблемы исследований и возможные пути их решения	22
Конструктивные решения при проектировании стенда	22
2 Разработка стенда физического подобию	25
2.1. Выбор оборудования	25
Микроконтроллер	25
Исполнительные устройства	26
Преобразователи и драйверы	27
Датчики давления	29
Блок питания	29
2.2 Разработка алгоритма работы стенда	30
3 Изготовление стенда и написание программы	32
3.1 Изготовление стенда	32
Силовая часть	32
Низковольтная часть	34
3.2 Реализация ПИД регулятора на C++	37
П регулятор	38
И регулятор	39
Д регулятор	41
ПИД регулятор	41
Регуляторы в программе стенда	43
4 Проверка работы стенда и анализ результатов	47
Тестирование стенда	47
Комплексная проверка системы	49
5. Анализ полученных результатов	51
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	53

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	53
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	54
6.2 SWOT – анализ	54
Сильные стороны	54
Слабые стороны	55
Возможности	55
Угрозы.....	55
6.3 Планирование научно-исследовательских работ	58
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	58
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	59
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	63
6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	63
6.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ	63
6.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы	65
6.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	66
6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
6.4.5 Накладные расходы	68
6.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	68
6.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	69
Вывод по разделу финансовый менеджмент	70
7. Социальная ответственность	71
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
7.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	71
7.1.2 Основные эргономические требования к компоновке рабочей зоны.....	72
7.2 Производственная безопасность	72
7.2.1 Отсутствие и недостатки искусственного освещения	73
7.2.2 Физические статические перегрузки, связанные с рабочей позой	74
7.2.3 Умственное перенапряжение	75

7.2.4 Отклонение показателей микроклимата	75
7.2.5 Поражение электрическим током	76
7.3 Экологическая безопасность	78
7.3.1 Влияние объекта исследования на селитебную зону	78
7.3.2 Влияние объекта исследования на атмосферу	78
7.3.3 Влияние объекта исследования на гидросферу	78
7.3.4 Влияние объекта исследования на литосферу	79
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может спровоцировать объект исследований	79
7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	79
Вывод по разделу социальная ответственность	81
Заключение	82
Список используемой литературы	84
Приложение А	88
Приложение Б	89

Введение

На данный момент в нашей стране всё чаще для добычи тепловой энергии начинают использовать в качестве топлива природный газ, вместо угля или того же мазута. Такой переход, при наличии должной инфраструктуры, обеспечивает удешевление производства энергии за счёт более дешёвого топлива, а также повышается экологичность за счёт уменьшения количества вредных выбросов в атмосферу.

Переход на газ имеет ряд существенных преимуществ, но нельзя забывать о том, что природный газ – конечный ресурс. По этой причине экономия топлива не только ещё больше удешевляет процесс добычи энергии, но и в очень долгосрочной перспективе оттягивает момент исчерпания газовых месторождений.

На данный момент многие предприятия, производившие смену типа топлива, достаточно давно имеют оборудование для добычи энергии из газа не оснащённое какими-либо регулируемыми устройствами. Это приводит к тому что газ может потребляться в пустую, а также создаёт опасность превышения необходимой мощности выдаваемой установкой.

Целью данной работы является разработка стенда физического подобия топки котла, имитирующего процессы, проходящие во время работы реальной установки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- изучить работу котельной установки и процессы, происходящие в ней;
- сконструировать стенд физического подобия топки котла;
- выбрать оборудование для системы управления;
- написать алгоритм регулирования заданных параметров,
- написать программу для микроконтроллера;
- изготовить прототип стенда физического подобия;
- провести испытания и проанализировать полученные результаты.

1 Описание работы котельной установки

Принцип работы газовой котельной довольно прост и представлен на рисунке 1.1.

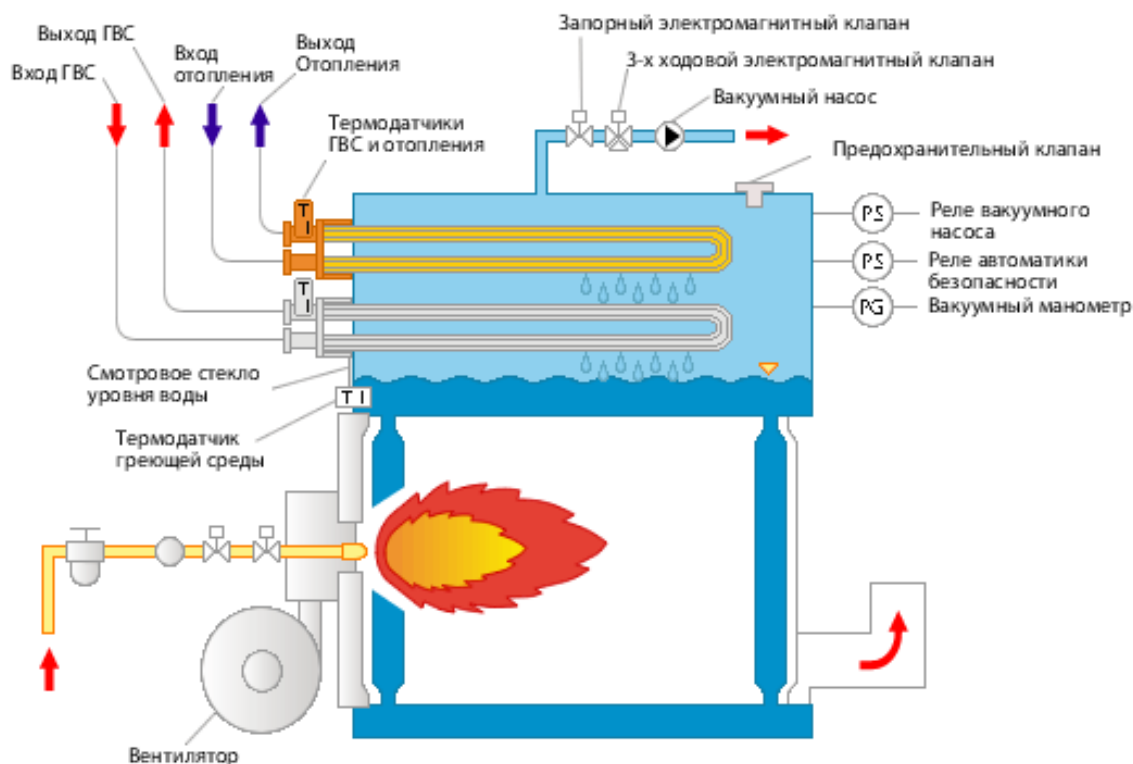


Рисунок 1.1 – Схема работы котельной установки

Газ из газопровода или от газгольдера подается к горелке котла.

Горелка обеспечивает сгорание газа в камере сгорания, выделяющиеся в процессе горения продукты сгорания нагревают теплоноситель, циркулирующий через теплообменник котла.

Нагретый теплоноситель поступает в распределительный коллектор, который распределяет его по отопительным контурам (радиаторы отопления, теплые полы, бойлер горячего водоснабжения и т.д.).

Проходя по отопительным контурам, теплоноситель отдает тепло - остывает, после чего по обратной линии подается в котел для повторного нагрева. Цикл повторяется.

В состав распределительного коллектора входит различное оборудование обеспечивающее циркуляцию теплоносителя и управление его температурой.

Удаление продуктов сгорания обеспечивает дымоход, а управление работой всей системы автоматика котла.

При сжигании топлива, входящие в его состав горючие элементы (углерод, водород и сера) соединяются с кислородом воздуха. При сжигании топлива в топке теплотворная способность топлива освобождается с образованием газообразных продуктов сгорания, имеющих высокую температуру. Газообразные продукты сгорания (топочные газы) проходят вдоль обогреваемых поверхностей котла, отдают свое тепло и удаляются наружу. Количество удаляемых газов соответствует расходу топлива и воздуха, а следовательно, и количеству выработанного пара (нагрузке котла). При этом в топке должно поддерживаться заданное разрежение.

В процессе горения, происходящего в топке газового котла, необходимо обеспечить непрерывную подачу топлива в количестве, соответствующем расходу тепловой энергии с паром, выработанным котлом, а также для восполнения потерь тепла: с уходящими газами от химической и механической неполноты сгорания, а также потерь в окружающую среду за счет лучеиспускания поверхностей обмуровки котла.

При сжигании топлива в топку должно быть подано определенное количество воздуха, содержащего кислород, необходимый для горения. Излишнее количество воздуха приводит к увеличению потерь тепла с уходящими газами, а недостаток воздуха может вызвать появление потерь от химической неполноты сгорания. Количество кислорода, т. е. воздуха, необходимого для выделения 1 ккал тепла при сжигании топлив всех видов, примерно одинаково. Поэтому чем выше теплотворная способность топлива, тем больше воздуха должно быть подано в топку для сжигания каждого килограмма топлива. Задача регулирования состоит в поддержании заданного

избытка воздуха, при котором обеспечиваются оптимальные условия экономичного сжигания топлива.

При регулировании процесса горения необходимо изменять подачу топлива (приход тепла) в соответствии с выработкой пара (расход тепла), задаваемой потребителем по графику. Это выполняется регулятором топлива, имеющимся в любом варианте системы автоматического регулирования процесса горения. Изменяя подачу топлива, регулятор топлива меняет нагрузку котла, т. е. выполняет назначение регулятора нагрузки.

Сжигание топлива в топке котла должно быть максимально экономичным. Это достигается строгим пропорционированием расхода воздуха в соответствии с подачей топлива. Для выполнения этой задачи любая система автоматического регулирования процесса горения снабжается регулятором воздуха. Этот регулятор поддерживает заданный коэффициент избытка воздуха при всех режимах работы котла. Выполняя свои функции регулятор воздуха поддерживает максимально экономичный режим горения, т. е. служит регулятором экономичности.

Образующиеся при сгорании топлива дымовые газы должны быть удалены наружу при поддержании заданного разрежения в топке. Для этого служит регулятор разрежения, воздействующий на работу дымососов.

Таким образом, автоматическая система регулирования процесса горения котла состоит из трех основных регуляторов, связанных между собой непосредственно или через процесс, происходящий в агрегате:

- регулятор нагрузки (паропроизводительности), выполняющий задачу регулятора подачи топлива;
- регулятор подачи воздуха, выполняющий задачу регулятора экономичности сжигания топлива;
- регулятор разрежения в топке, выполняющий задачу регулятора отсоса дымовых газов.

Четвертый, относительно независимый регулятор – регулятор уровня воды в барабане котла.

Проблемы исследований и возможные пути их решения

Газовый котёл – опасный производственный объект и какие-либо эксперименты над технологическим процессом на нём проводить нежелательно в виду опасности последствий.

Программное моделирование может решить проблему безопасности. Но и у него есть свои недостатки в виде неточностей моделей, отсутствии реальных возмущений и невозможности в живую пронаблюдать исследуемый процесс.

Проблему наглядности поможет решить стенд физического подобия. При конструировании подобных установок необходимый процесс стараются симулировать, не прибегая к использованию тех частей исследуемого процесса, которые делают его опасным для человека. Это помогает получить необходимые данные без риска, например, пронаблюдать переход системы в критические состояния. Также стенд позволяет наглядно пронаблюдать процесс и с уверенностью сказать, как изменение параметров влияет на всю систему в целом и на отдельные её узлы.

Конструктивные решения при проектировании стенда

Главная задача разрабатываемого в данной работе стенда – симулировать процессы, проходящие в топке газового котла во время его работы. Для безопасного выполнения поставленной задачи при разработке стенда было решено отказаться от использования природного газа, открытого огня, кипящей воды и образования горячего пара.

В качестве рабочего вещества, вместо газозооной смеси в стенде можно использовать атмосферный воздух, не находящийся под давлением. Подача его в импровизированную топку осуществляется по средству нагнетания его с помощью вентилятора.

Так как от процесса горения принято решение отказаться, в топке отсутствуют горелки, а роль продуктов сгорания выполняет всё тот же атмосферный воздух.

Дымоотсос возможно реализовать в виде двух мощных вентиляторов, выгоняющих воздух из объёма и создающих в нём небольшое разрежение относительно атмосферного давления. Разрежение в топке необходимо в реальной установке, так как без него газоздушная смесь не сгорает полностью, что приводит к нерациональному расходу газа. Из-за важности этого параметра его изменение так же необходимо симулировать в стенде.

В реальной установке регулирование подачи топлива в топку осуществляется в зависимости от мощности выдаваемой котлом в виде пара в конкретный момент времени. Расход пара фиксируется расходомерами различных типов. Самые популярные это ультразвуковые расходомеры, сужающие устройства и турбинные расходомеры. Для стенда, по принципу работы идеально подходит турбинный расходомер, который можно симулировать вентилятором с тахометром.

Для осуществления процесса регулирования и производства расчётов необходим микроконтроллер. В реальных установках используются промышленные контроллеры, но для стенда их мощность будет избыточна. Для стенда необходимо более простое в освоении и применении решение. Под эти параметры хорошо подходят платформы для любительской робототехники имеющие микроконтроллер с программатором на борту, удобную и простую в освоении среду разработки программ.

Для того что бы сигналы от контроллера могли восприниматься исполнительными устройствами необходимо применять усилители или повышающие преобразователи. Для управления электродвигателями постоянного тока можно использовать драйверы – специальные платы способные принимать маломощные сигналы от микроконтроллера и используя внешний источник питания регулировать напряжение, подаваемое на электродвигатель.

Для регистрации разрежения в топке на реальной установке используются термостойкие датчики разрежения. Для стенда же вполне достаточно датчиков атмосферного давления. Один помещается снаружи объёма и фиксирует атмосферное давление, в свою очередь второй датчик регистрирует давление внутри объёма. Разницей их показаний и будет являться разрежение в объёме.

Габариты топки газового котла довольно велики и для стенда их необходимо масштабировать, что бы исполнительные механизмы смогли создать необходимое разрежение для его регистрации.

2 Разработка стенда физического подобия

Стенд физического подобия топки газового котла разрабатывается с целью исследования режимов работы оборудования и системы управления.

После разработки конструкции стенда решаются следующие задачи:

- разрабатывается система управления стендом;
- разрабатывается алгоритм регулирования разрежения,
- разрабатывается и отлаживается программа для микроконтроллера;
- изготавливается прототип стенда физического подобия;
- проводятся испытания и анализируются полученные результаты.

Разработка системы управления стендом начинается с выбора оборудования. Основными критериями при выборе являются стоимость и доступность для приобретения.

2.1. Выбор оборудования

Микроконтроллер

Главным элементом всей системы, отвечающим за её работоспособность, является микроконтроллер. Его задача обрабатывать поступающие данные с датчиков и вводимые оператором параметры системы преобразуя их в управляющее воздействие, передаваемое на исполняющие устройства.

Для данного проекта был выбран микроконтроллер платформы Arduino на базе чипа ATMEGA328U по ряду причин. Внешний вид микроконтроллера представлен на рисунке 2.1.

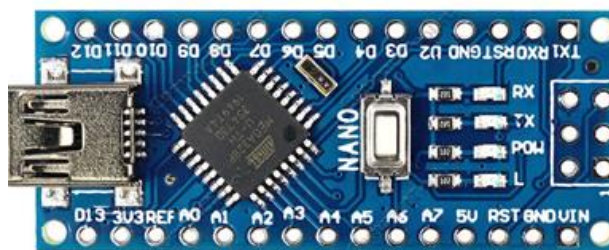


Рисунок 2.1 – Внешний вид микроконтроллера Arduino NANO

Данная платформа очень популярна и для обучения работы с ней есть очень много материалов в интернете. Так же аппаратная часть построена на языке C++, что упрощает разработку. И последним из достоинств является дешевизна самого модуля и простота подключения на него модулей «навесом» что изрядно облегчит тестирование сборки на финальном этапе.

Исполнительные устройства

В качестве исполняющих устройств для реализации дымососа мной выбраны осевые вентиляторы бренда SILART. Для получения от них заданной мощности были выбраны варианты с питанием 24 В. Такая мощность обеспечит необходимое разрежение в заданном объёме. Внешний вид вентилятора представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Осевой вентилятор G1238-D24X-7PBHL - 24 VDC

В свою очередь, для подачи воздуха в топку котла выбран осевой корпусной вентилятор фирмы EgeGate (см. рисунок 2.3). Вентилятор имеет регулятор оборотов по ШИМ сигналу и тахометром для считывания оборотов.



Рисунок 2.3 – Вентилятор ExeGate EX09225H4P-PWM

Данная модель отвечает всем необходимым параметрам кроме напряжения питания. Так как основная силовая часть питается напряжением 24 вольта, то для работы данного вентилятора необходим понижающий преобразователь. Это не является проблемой так как выход для ШИМ у этой модели выведен на отдельный провод от питания.

Преобразователи и драйверы

Выбранный мной микроконтроллер способен выдать управляющий сигнал напряжением максимум 5В чего не хватит для работы осевых вентиляторов. Для решения данной проблемы необходим драйвер, который позволит управлять мощностью вентиляторов используя для этого управляющий сигнал с микроконтроллера.

Принцип работы драйвера прост – у него есть «высокий» и «низкий» контур по напряжению. При подаче питания 5В и ШИМ сигнала на низкий контур появляется возможность регулировать выдаваемую мощность высокого контура, который по сути своей является плавным переключателем и ставится в разрыв сети питания осевых вентиляторов.

Для уверенности в том, что высокий контур драйвера выдержит нагрузку 24В питания для двух вентиляторов выбран драйвер на мосфетах IRF3205, внешний вид которого представлен на рисунке 2.4. Его возможности

сильно превышают параметры системы, но это было сделано умышленно в угоду безопасности.

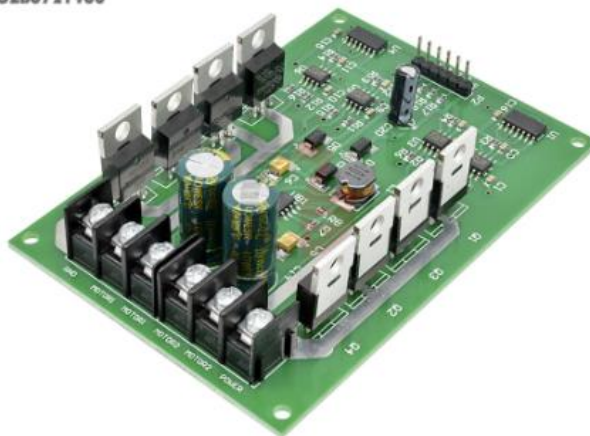


Рисунок 2.4 – Драйвер на мосфетах IRF3205

Для работы вентилятора, питающегося от напряжения 12В необходим понижающий преобразователь напряжения постоянного тока. Для данной задачи выбран преобразователь XL4016, представленный на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Понижающий преобразователь XL4016

Эта модель имеет систему пассивного охлаждения и проста в использовании.

Датчики давления

Для получения разницы давлений вне объёма и внутри него необходимы два датчика давления. Для измерения давления выбраны датчики на чипе от фирмы BOSCH BMP280 (рисунок 2.6).

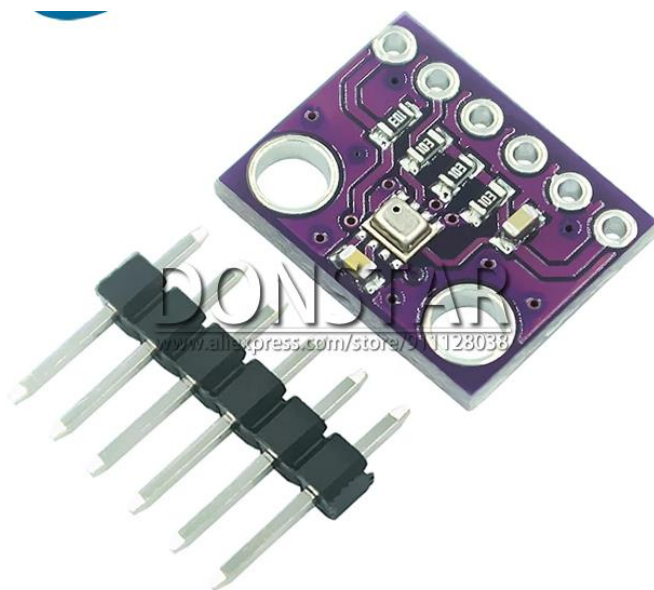


Рисунок 2.6– Датчик на базе чипа BMP280

Выбор пал на эти датчики из-за легкодоступности пояснительной документации и наличия в открытом доступе библиотек для упрощенного с ними в коде программы.

Блок питания

Для питания силовой части стенда выбран блок питания на 24В и 2А (рисунок 2.7). Этого достаточно для питания трёх вентиляторов. Питание же низковольтной части осуществляется через контроллер подключенный к компьютеру. Поэтому отдельный блок питания для контроллера не нужен.



Рисунок 2.7 – Блок питания на 24В и 2А

2.2 Разработка алгоритма работы стенда

Для верной симуляции процессов проходящих в топке котла на разрабатываемом стенде необходимо продумать алгоритм его работы, который будет приближен к алгоритму работы реальной установки.

Начало работы стенда осуществляется пуском и проверкой работоспособности его элементов. Далее микроконтроллеру необходимо получить данные с датчиков для их обчёта и выдачи управляющих воздействий на основе проведённых вычислений.

Первыми необходимо считать данные с тахометра, потому что его показания зависят только от величины ШИМ сигнала, поданного на впускной вентилятор. Микроконтроллер сравнивает показания оборотов в минуту с уставкой и если те не совпадают идёт уже следующая проверка на то, меньше ли значение, передаваемое микроконтроллеру датчиком. Если значение, передаваемое датчиком меньше уставки, микроконтроллер повышает значение ШИМ сигнала, передаваемое на впускной вентилятор на единицу и продолжает это делать до тех пор, пока показания с тахометра не будут равны уставке. Если же показания не равны уставке и не меньше её, это значит, что они

превышают уставку. В таком случае микроконтроллер понижает значение ШИМ сигнала на единицу вплоть до совпадения показаний датчика и уставки.

Когда впускной вентилятор выходит на заданные обороты необходимо проверить, совпадает ли значение разрежения в объёме с необходимым значением этого показателя. Эта проверка осуществляется после предыдущей так как то, сколько воздуха впускной вентилятор нагнетает в объём напрямую влияет на показания с датчика давления находящегося внутри объёма, а, следовательно, и на разницу давлений между окружающей средой и объёмом.

Показания с обоих датчиков давления поступают на микроконтроллер, который вычисляет разницу между ними и на основе этой разницы производит сравнение с уставкой. Если значение разрежения, выдаваемое датчиками, отличается от уставки, проводится следующая проверка на то, меньше ли значение, передаваемое микроконтроллеру датчиками. Если значение разрежения, передаваемое датчиками меньше уставки, микроконтроллер повышает значение ШИМ сигнала, подаваемого на вентиляторы дымоотсоса на единицу и продолжает это делать до тех пор, пока значение разрежения в объёме не будет равно уставке. Если же показания не равны уставке и не меньше неё, это значит, что они превышают уставку. В таком случае микроконтроллер понижает значение ШИМ сигнала на единицу вплоть до совпадения значения разрежения в объёме с уставкой.

На основе данного описания можно построить блок-схему отражающую процесс работы стенда по данному алгоритму. Блок схема алгоритма представлена в приложении А.

3 Изготовление стенда и написание программы

3.1 Изготовление стенда

Силовая часть

Принцип работы стенда и алгоритм его работы были описаны выше и теперь, опираясь на эти данные необходимо изготовить стенд. В первую очередь необходимо определить, как и с помощью каких интерфейсов элементы конструкции будут взаимодействовать между собой.

Начать следует с управления мощностью силовых агрегатов, в роли которых выступают три осевых вентилятора с двигателями постоянного тока. Изменение мощности производится изменением подаваемого напряжения на электродвигатель. Этого можно добиться двумя разными способами:

- подать на двигатель аналоговый сигнал с необходимым значением напряжения;
- применить ШИМ сигнал.

Первый вариант с аналоговым сигналом применим лишь в случае прямого подключения ведущего устройства к ведомому и, если ведущее устройство способно сгенерировать сигнал с достаточным значением напряжения и тока для работы ведомого устройства. В этом есть свои плюсы, так как нет необходимости применять промежуточные преобразователи. В нашем случае это не реализуемо так как, даже при возможности установить ЦАП в систему с выбранным микроконтроллером максимальное напряжение, которое он способен генерировать равно 5В чего недостаточно даже для трогания одного электродвигателя установленного в вентиляторе дымоотсоса.

Широтно-импульсная модуляция или ШИМ – процесс управления мощностью суть которого заключается в постоянном включении и выключении устройства с помощью тактового сигнала с определённой частотой. Существуют различные типы ШИМ сигнала, но в данном проекте я буду использовать самый популярный цифровой тип этого сигнала. Он представляет из себя резкие скачки напряжения от 0В до 5В для выбранного

микроконтроллера. Эти скачки во времени образуют волну квадратной формы, при интегрировании которой можно увидеть, что суммарное напряжение ШИМ сигнала не равно 5В, а зависит от длины участков с 5В и 0В. Отношение промежутков времени уровня сигнала в 5В к времени всего импульса называется скважностью, следовательно, чем выше скважность, тем выше суммарное напряжение (см. рисунок 3.1).

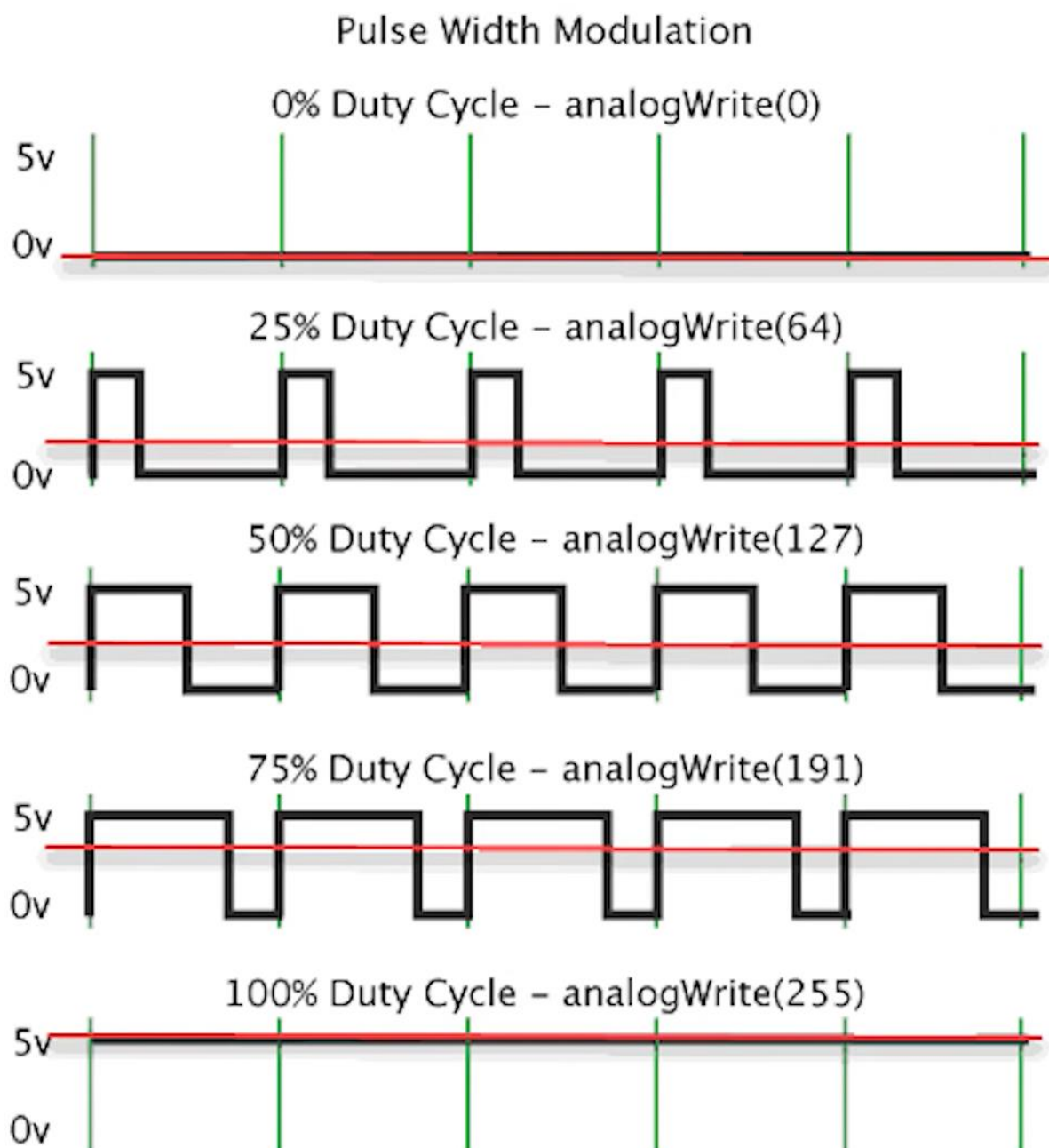


Рисунок 3.1 – Пример изменения суммарного напряжения при использовании ШИМ сигнала

Выбранный микроконтроллер способен генерировать такой сигнал используя внутренние таймеры. Разрядность этого генератора 8 бит, из чего следует что, подавая на вход ШИМ генератора значение от 0 до 2^8-1 на выходе получим сигнал со скважностью от 0 до 100%. Из рисунка 3.1 видно, что данные показатели скважности соответствуют напряжению на выходе от 0В до 5В. Для использования этого принципа в среде разработки под выбранный микроконтроллер существует стандартная функция, что значительно облегчает задачу.

Так же в пользу ШИМ работает тот факт, что все цифроаналоговые преобразования происходят автоматически и не нуждаются в нашем контроле. Единственное что необходимо настроить это частоту импульсов, но об этом будет сказано далее.

Определившись с принципом приступаем к решению проблемы напряжения питания силовых агрегатов. Самый высоковольтный элемент схемы — это вентиляторы дымоотсоса, потребляющие нагрузку в 24В. Для того чтобы управлять ими необходим внешний источник питания на 24В и драйвер для управления электродвигателями постоянного тока подобранный ранее. Для снижения напряжения с источника до 12В для питания впускного вентилятора так же нужен понижающий преобразователь напряжения постоянного тока.

Разобрав обвязку и принцип работы силовой части можно приступить к подключению низковольтной части.

Низковольтная часть

Низковольтная часть состоит из самого микроконтроллера, датчиков давления и тахометра. Начнём разбор принципа их взаимодействия с тахометра.

Тахометр, установленный в впускном вентиляторе предназначен для регистрации количества оборотов в минуту совершаемых лопастями вентилятора. Происходит это по принципу подсчёта количества сигналов прерывания посылаемых датчиком при регистрации одного полного оборота.

Данный тип сигнала принимается микроконтроллером на специальном дискретном входе, на котором аппаратно разрешено внешнее прерывание. Таймер подключенный к данному входу считает время между прерываниями и уже микроконтроллер используя это время и количество совершённых оборотов считает необходимые нам обороты в минуту.

Такой принцип взаимодействия между тахометром и микроконтроллером имеет ряд преимуществ. Аппаратное преимущество в скорости передачи данных микроконтроллеру, так как они идут напрямую и не пересекаются с другими шинами данных, не мешая их работе. Со стороны программной части такой тип подключения удобен тем что используется отдельный таймер, и передача данных не зависит от скорости выполнения основной программы.

Рассмотрим принцип взаимодействия датчиков давления и микроконтроллера. Выбранные датчики давления на чипе BMP280 являются цифровыми измерительными устройствами способные передавать данные по шине I²C.

Последовательная асимметричная шина или I²C – Это шина, предназначенная для связи нескольких ведомых устройств с одним ведущим и их попеременного опроса для получения данных. Принцип работы этой шины данных строится на использовании двух двунаправленных линий связи SDA и SCL и присвоении каждому ведомому устройству личного адреса в шестнадцатеричной системе счисления от 0x00 до 0xFF. Из диапазона адресов можно понять, что в теории к одному ведущему устройству можно подключить 256 ведомых устройств используя лишь два выхода микроконтроллера. Использование адресов и помогает ведущему устройству обратиться к определённому ведомому устройству и считать его показания, не получая помех в виде данных с других ведомых устройств.

Рассмотрим подключение подобранных датчиков давления к микроконтроллеру. Данные датчики имеют свою особенность – их адрес на шине I²C фиксирован с завода и выглядит в шестнадцатеричной системе

счисления как 0x76. Это является проблемой так как на шине не должно быть двух устройств с одинаковыми адресами, так как микроконтроллер не сможет обратиться к конкретному датчику и будет принимать неверные сигналы сразу с двух ведомых устройств.

На данной модели датчиков эта проблема решается наличием входов под шину SPI которые можно использовать для смены адреса одного из датчиков на 0x77. Для этого достаточно подключить провод питания 5В не на вход питания, а на вход SDO шины SPI. Это позволит нам обойти заводское ограничение по смене адресов данных датчиков и попеременно опрашивать их по шине I²C получая необходимые нам данные.

Питание всех устройств низковольтной части обеспечивает Arduino NANO подключенная к персональному компьютеру через порт USB. Подключение к персональному компьютеру необходимо для передачи данных с микроконтроллера, их обработке в среде разработки, построения графиков и изменения параметров системы с помощью передачи данных в микроконтроллер через последовательный порт.

3.2 Реализация ПИД регулятора на C++

Основная задача системы управления – регулирование разрежения в камере, подобной топке котла.

Для этого для микроконтроллера марки Arduino разработана программа в среде разработки Arduino IDE.

Программы в данной среде разработки пишутся на упрощенной версии C++. Большим преимуществом разработки программ на данной платформе является огромное количество информации по ней находящееся в открытом доступе, а также большой выбор библиотек для взаимодействия с всевозможной периферией и проведения расчётов по уже заранее составленным функциям.

Для регулирования параметров системы был выбран принцип пропорционально-интегрально-дифференциального регулирования или ПИД регулирование с обратной связью (рисунок 3.2).

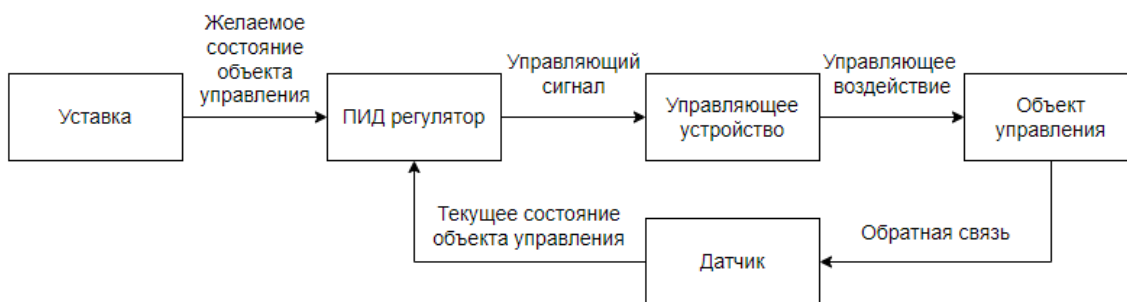


Рисунок 3.2 – Схема системы регулирования, основанная на ПИД регуляторе

ПИД регулятор настраивается с помощью трёх коэффициентов:

- Пропорционального (k_p)
- Интегрального (k_i)
- Дифференциального (k_d)

В то же время выход регулятора состоит из трёх составляющих:

- Пропорциональной (P)
- Интегральной (I)
- Дифференциальной (D)

Из этого получаем что управляющий сигнал на выходе ПИД регулятора равен сумме трёх его составляющих соответственно помноженных на их коэффициенты.

$$P \cdot kp + I \cdot ki + D \cdot kd = out \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что, если в качестве значения коэффициента для любой составляющей установить 0, эта составляющая перестанет влиять на систему.

Так как регулятор будет реализован на языке программирования C++ необходимо рассмотреть, что из себя представляет каждая его составляющая с точки зрения программирования на примере регуляторов, содержащих лишь одну составляющую. Так же примем условные обозначения параметров регулятора, где:

- *out* – выход с регулятора (управляющий сигнал)
- *setpoint* – уставка
- *input* – вход (значение с обратной связи)
- *dt* – период дискретизации системы

П регулятор

Пропорциональная составляющая представляет из себя разницу между установкой и текущими показаниями с датчика. Данная разность называется ошибкой регулирования. Она показывает насколько далеко система находится от заданного значения.

$$\begin{aligned} out &= P \cdot kp \\ P &= setpoint - input \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражения (2) становится ясно, что чем больше будет ошибка, тем больше будет управляющий сигнал и, тем быстрее система будет приводить управляемую величину к заданному значению. Коэффициент *kp* здесь играет роль усилителя ошибки.

Приведём пример воздействия пропорциональной составляющей на систему с помощью графика где ось абсцисс — это время переходного

процесса в секундах, а ось ординат показывает значение сигнала (синяя линия), уставки (зелёная линия) и управляющего воздействия (красная линия) в условных единицах.

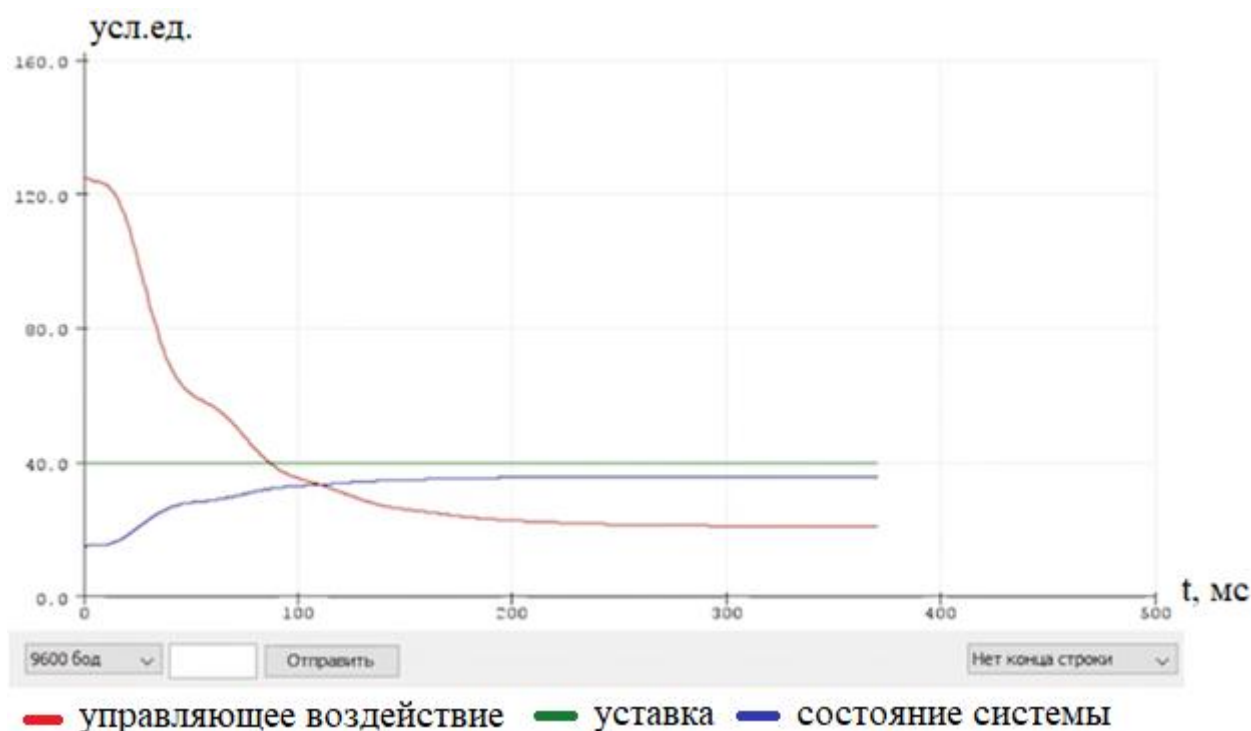


Рисунок 3.3 – График переходного процесса при $k_p = 5$

Из вышесказанного можно сделать вывод что пропорциональная составляющая уменьшает статическую ошибку, то есть ошибку на каждом шаге регулирования. Чем больше P , тем ошибка меньше, но в свою очередь ошибка никогда не будет равна нулю. В то же время большое значение P приведёт к раскачке системы и незатухающим колебаниям.

И регулятор

Интегральная составляющая предназначена для того что бы нивелировать ошибку и свести её к нулю.

$$\begin{aligned} out &= I \cdot ki \\ I &= I + (setpoint - input) \cdot dt \end{aligned} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что интегральная составляющая суммирует в саму себя ошибку, умноженную на период дискретизации системы, то есть на время, прошедшее с предыдущего расчёта. Можно сделать вывод, что

интегральная составляющая это интеграл ошибки по времени. Фактически в интегральной составляющей копится ошибка, что позволяет регулятору с течением времени полностью её устранить, приведя систему к уставке с максимальной точностью. В свою очередь коэффициент k_i настраивает резкость данной составляющей.

Если в случае П регулятора эффект воздействия составляющей был виден сразу, то И регулятор, хоть и приводит систему к уставке, но делает он это очень медленно. Поэтому самостоятельно он почти не используется в отличие от П регуляторов, применение которым всё же находят. Если же объединить пропорциональную и интегральную составляющие можно получить результат, показанный на рисунке 3.4.

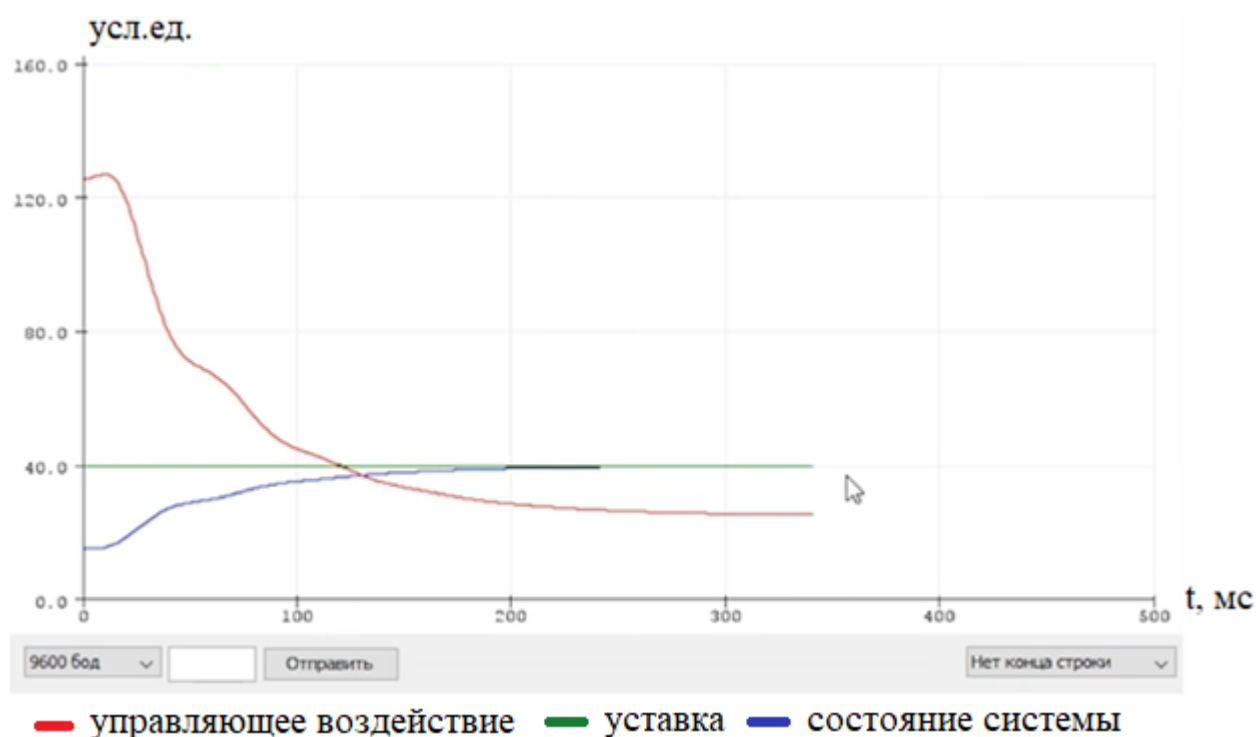


Рисунок 3.4 – График переходного процесса при $k_p = 5$, $k_i = 0,5$

Как можно видеть из графика пропорциональная составляющая дала начальный резкий рост управляющего воздействия, а интегральная составляющая свела ошибку к нулю.

Д регулятор

Если пропорциональная составляющая исправляет текущую ошибку в текущий момент времени, а интегральная составляющая исправляет прошлые ошибки, в свою очередь дифференциальная составляющая исправляет будущие ошибки системы.

$$\begin{aligned} out &= D \cdot kd \\ err &= setpoint - input \\ D &= (err - prevErr) / dt \\ prevErr &= err \end{aligned} \tag{4}$$

Из выражения (4) видим то дифференциальная составляющая представляет из себя разность текущей и предыдущей ошибки, поделённую на период дискретизации системы, что является математической производной от ошибки по времени. Фактически дифференциальная составляющая реагирует на изменение сигнала с датчика, и чем сильнее происходит это изменение, тем большее значение прибавляется к общей сумме. Дифференциальная составляющая позволяет компенсировать резкие изменения в системе и предотвратить сильное перерегулирование и уменьшить раскачку. Коэффициент kd позволяет настроить вес или резкость данной компенсации.

Дифференциальная составляющая в первую очередь нужна для быстрых систем с резкими изменениями. В медленных системах чаще всего ограничиваются P и I составляющей.

ПИД регулятор

Используя все четыре предыдущие выражения, описанные в предыдущих пунктах этого раздела, получим:

$$\begin{aligned} err &= setpoint - input \\ P &= err \\ I &= I + err \cdot dt \\ D &= (err - prevErr) / dt \\ prevErr &= err \\ out &= P \cdot kp + I \cdot ki + D \cdot kd \end{aligned} \tag{5}$$

Из выражения (5) видно, что ПИД регулятор представляет из себя довольно простой набор математических операций реализация которого на языке C++ в Arduino IDE может выглядеть так:

Листинг 1 – Реализация ПИД регулятора на C++

```
void setup(){
}
void loop()
{
    computePID(sensorRead, 30, 1.0, 2.0, 3.0, 0.1);
    delay(100);
}
// (вход, установка, kp, ki, kd, период в секундах, мин.выход, макс. выход)
int computePID(float input, float setpoint, float kp, float ki, float kd, float dt, int
minOut, int maxOut)
{
    float err = setpoint - input;
    static float integral = 0, prevErr = 0;
    integral = constrain(integral + (float)err * dt * ki, minOut, maxOut);
    float D = (err - prevErr) / dt;
    prevErr = err;
    return constrain(err * kp + integral + D * kd, minOut, maxOut);
}
```

Для реализации своего проекта я принял решение использовать основанную на этой функции библиотеку для уменьшения количества места, занимаемого скетчем в памяти микроконтроллера, удобства расчётов и настройки самих регуляторов.

Регуляторы в программе стенда

В программе, написанной для стенда настройки регуляторов выглядят так:

Листинг 2 – Настройки регуляторов

```
#include <GyverPID.h>
...
GyverPID pid;
GyverPID pid2;
...
int period = 200;
int period2 = 10;
void setup() {
    ...
    //Настройки ПИД регулятора дымоотсоса//
    pid.Kp = 3;
    pid.Ki = 5;
    pid.Kd = 0.8;
    pid.setDt(period);
    pid.setDirection(NORMAL);
    pid.setpoint = 260;
    //Настройки ПИД регулятора впускного вентилятора//
    pid2.Kp = 20;
    pid2.Ki = 0;
    pid2.Kd = 1;
    pid2.setDt(period2);
    pid2.setDirection(NORMAL);
    pid2.setpoint = 2000;
    ...
}
```

Параметры регуляторов являются объектами класса и прописываются соответственно. Рассмотрим за что отвечают переменные:

- K_p , K_i , K_d – отвечают за соответствующие коэффициенты регуляторов.
- `setDt` – определяет период дискретизации в миллисекундах равный переменным `period` и `period2`.
- `setDirection` – определяет направление регулирования. `NORMAL` – прямое регулирование, то есть увеличение управляющего сигнала увеличивает показания с датчика. `REVERSE` – обратное регулирование, то есть увеличение управляющего сигнала уменьшает показания с датчика.
- `setpoint` – уставка

Эта часть кода выполняется один раз при запуске программы и определяет параметры регуляторов.

Теперь рассмотрим часть кода, отвечающую непосредственно за регулирование параметров системы.

Листинг 3 – Использование регуляторов

```
void loop() {  
    ...  
    //таймер для PID регуляторов//  
    static uint32_t tmr;  
    if (millis() - tmr > period2) {  
        tmr = millis();  
        //дымоотсос//  
        pid.input = x;  
        pid.getResult();  
        //ограничение диапазона ШИМ до 235 для более стабильной  
работы//  
        if (pid.output < 235)  
        {
```

Продолжение листинга 3

```
        PWM_set(9, pid.output);
        digitalWrite(7, HIGH);
    }
    else
    {
        PWM_set(9, 235);
        digitalWrite(7, HIGH);
    }
    //впускной вентилятор//
    pid2.input = tacho.getRPM();
    pid2.getResult();
    analogWrite(3, pid2.output);
    ...
}
...
}
```

В данной части кода используется ряд функций, отвечающих за передачу сигнала с микроконтроллера на исполняющие устройства, которые в данном разделе можно опустить. Непосредственно к регуляторам относятся такие объекты классов как:

- `input` – выполняет функцию передачи значения с датчиков в библиотеку ПИД регулятора для дальнейших преобразований.
- `getResult` – по вызову данной функции производится расчёт поданных в ПИД регулятор данных.
- `output` – вызов этой функции забирает значение с выхода регулятора и позволяет использовать его в качестве управляющего сигнала

Таймер необходим по причине того, что `getResult` производит вычисления по вызову. Вызывать её необходимо по отдельному таймеру,

период которого равен периоду дискретизации, чтобы не перегружать программу постоянными вычислениями на частоте работы самого микроконтроллера и дать необходимое библиотеке время на расчёты.

С полным листингом программы, снабжённым комментариями, можно ознакомиться в приложении Б

4 Проверка работы стенда и анализ результатов

Конструкция прототипа стенда физического подобия топки котла представлена на рисунке 4.1.

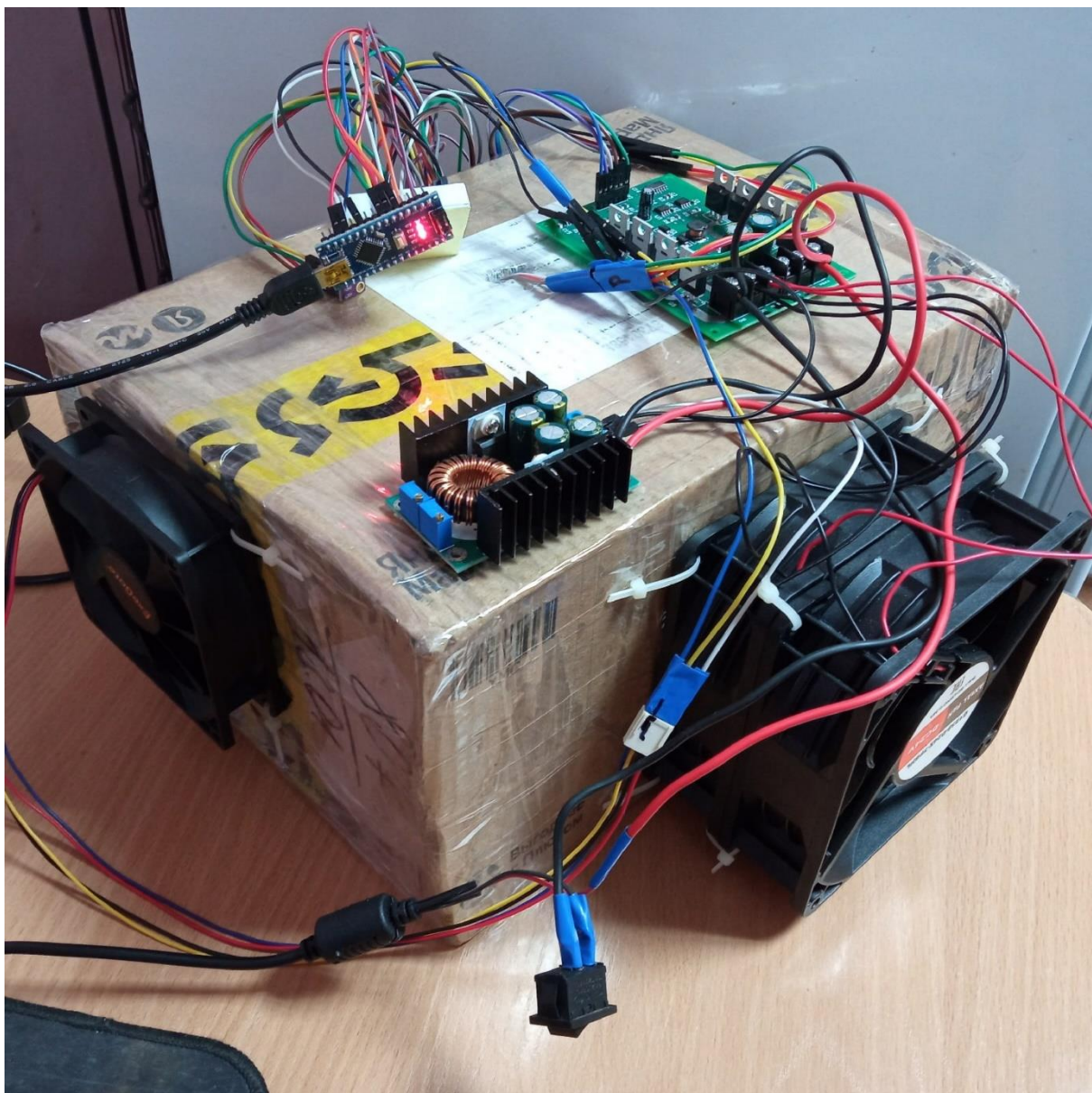


Рисунок 4.1 – Внешний вид собранного стенда

Тестирование стенда

Для начала проведём тест регулятора оборотов впускного вентилятора. Результаты представлены на рисунке 4.2 и 4.3.

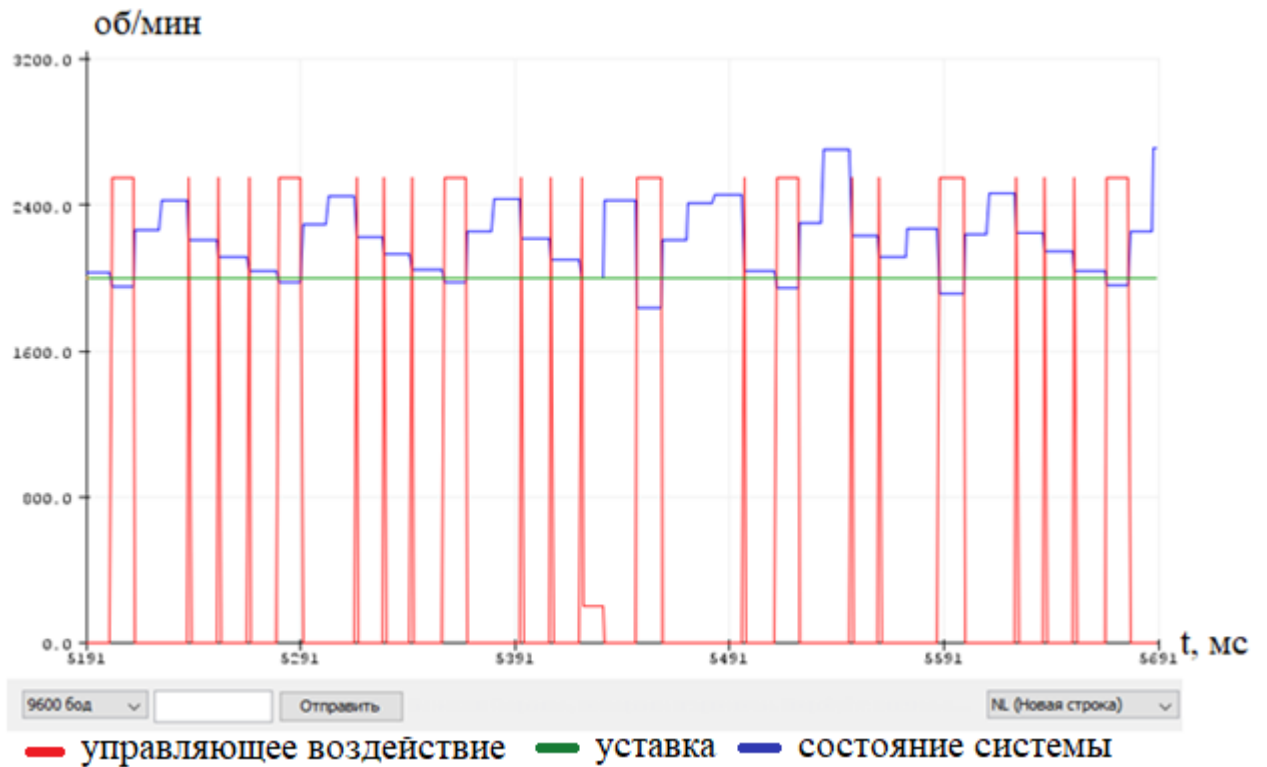


Рисунок 4.2 – Показания тахометра с уставкой на 2000 об/мин

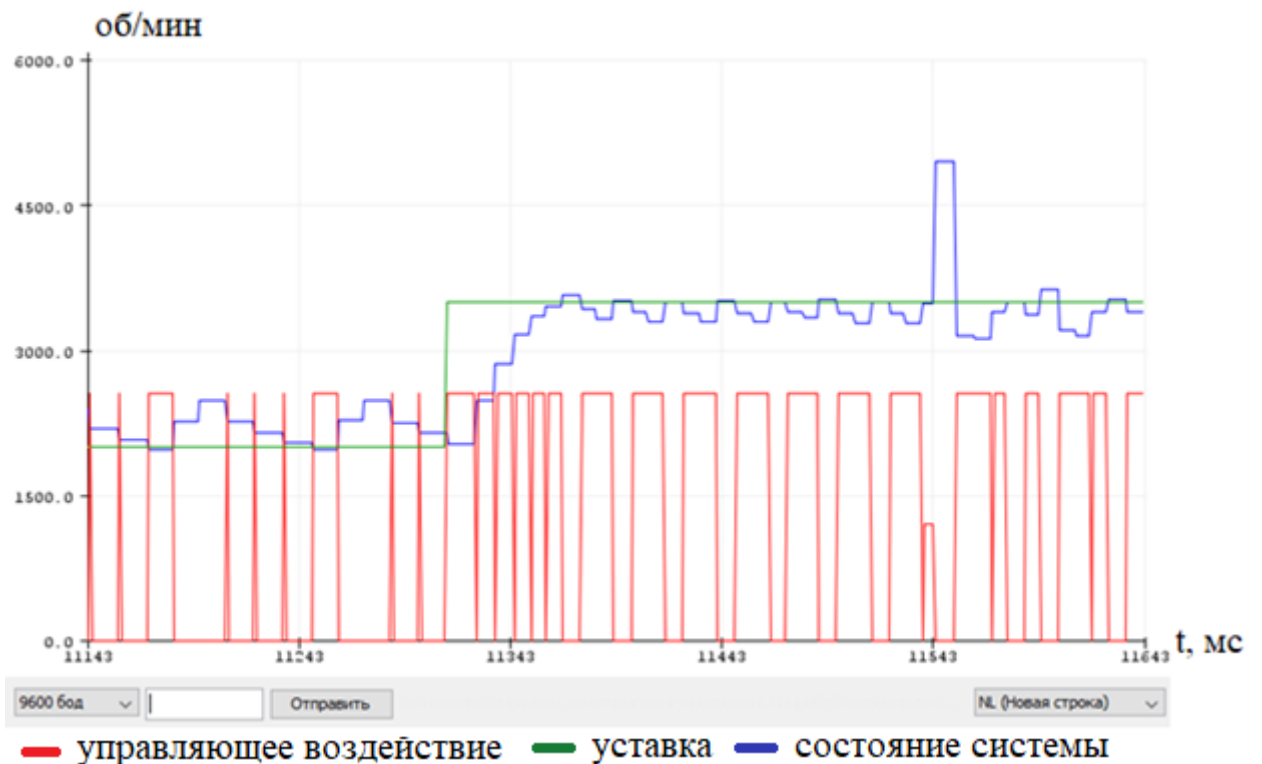


Рисунок 4.3 – Смена уставки с 2000 на 3500 об/мин

Из рисунка 4.2 видно, как колеблются показания тахометра вокруг линии уставки. Это обусловлено неточным подбором коэффициентов ПИД

регулятора и высокой скоростью изменения параметров системы, а также несовершенством самого датчика из-за чего в показаниях бывают неточности.

На рисунке 4.3 представлена реакция системы управления на изменение уставки и то как регулятор отработал это изменение. Из графика следует, что изменение числа оборотов произошло достаточно быстро и показания вновь стали относительно стабильными.

Комплексная проверка системы

На рисунке 4.4 представлен установившийся режим регулирования разрежения в «топке котла» на уровне 120Па. Входной вентилятор вращается со скоростью 2000 об/мин.



Рисунок 4.4– Графики параметров системы

Проверим реакцию системы на изменение уставки с 120Па до 140Па. Результат представлен на рисунке 4.5.



Рисунок 4.5 – Изменение уставки по разрежению

Из рисунка 4.5 следует, что в ответ на изменение уставки регулятор поднял управляющее воздействие на дымоотсосе и вновь стабилизировал систему.

Рассмотрим как изменятся параметры системы если расход воздуха по каким либо причинам резко вырастет. Для этого поднимем обороты впускного вентилятора с 2000 об/мин до 4500 об/мин. Результат представлен на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 – Изменение уставки по оборотам впускного вентилятора

Из графика следует, что в момент роста оборотов впускного вентилятора регулятор разрежения так же поднял обороты вентиляторов дымоотсоса, компенсируя изменение давления внутри объёма.

5. Анализ полученных результатов

Получив данные можно подвести итоги проделанной работы по двум разделам – программному и аппаратному.

При разработке программной части проекта не обошлось без трудностей, начиная с поиска рабочих библиотек для взаимодействия с выбранными компонентами и заканчивая собственными навыками программирования, оставляющими желать лучшего. Основной задачей этого раздела была реализация на языке C++, а затем и последующий синтез двух ПИД регуляторов, работающих параллельно и параметры которых зависят друг от друга. Исходя из результатов проверки работы стенда могу сделать вывод что, задача была выполнена.

Аппаратная часть проекта состояла из решения ряда проблем, таких как подбор комплектующих и их объединения в рабочую систему. Самой большой сложностью в этом отношении было решение проблемы недостатка мощности вентилятора дымоотсоса и регистрации мощности на впуске, так как первоначальная конструкция предполагала наличие лишь одного вентилятора фирмы SILART на позиции дымоотсоса, второй же такой же вентилятор должен был быть впускным, но он не имел возможности измерения количества оборотов. Решение сразу двух этих проблем было найдено в установке на впуск менее мощного и оснащенного датчиком оборотов вентилятора фирмы EхеGate. Это позволило получать данные со входа системы и увеличить мощность дымоотсоса установкой вентиляторов SILART в паре. В итоге, не смотря на общую визуальную несуразность конструкции стенд работает так, как и задумывалось при его разработке.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является определение коммерческой привлекательности научно-исследовательской работы.

Достижение цели обеспечивается при выполнении следующих задач:

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной работе будет описана возможность применения принципов, заложенных в разрабатываемый макет, специалистами в сфере автоматизации технологических процессов и проведено исследование оценивающее эффективность данной концепции.

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

Оценка коммерческого потенциала разработки позволяет определить перспективность научного исследования на первых этапах его жизненного цикла. Данная оценка является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Помимо этого, следует помнить, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров аналогичных конкурентных разработок, но и тем, насколько быстро удастся найти ответы на такие вопросы – будет ли разработка востребована

рынком, какова будет ее цена, каков бюджет научного исследования, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной бакалаврской работе рассматривается процесс проектирования и создания макета реальной установки с возможностью тестирования на нём различных режимов работы, а также изучения влияния на технологический процесс различных параметров.

Потенциальными потребителями результатов данного исследования являются предприятия нефтегазовой отрасли, специализирующиеся на разработке и проектировании автоматических систем управления и внедрении их в производство.

6.2 SWOT – анализ

SWOT-анализ – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Сильные стороны

Сильные стороны – это факторы, характеризующиеся конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильной стороной данного проекта является: низкая стоимость проекта в виду отсутствия потребности в использовании специализированного оборудования и софта в процессе разработки и создания стенда. Все материалы можно найти в свободной розничной продаже, а разработка программной части ведётся на обычном персональном компьютере в бесплатной среде разработки с открытым исходным кодом. Все необходимые для функционирования стенда материалы и библиотеки так же можно найти в открытом доступе.

Ещё одной сильной стороной проекта является его актуальность, так как сейчас энергодобывающие компании всё чаще переходят на газовое топливо,

либо задумываются о повышении эффективности уже имеющихся агрегатов, работающих на природном газе. Результаты данного проекта помогут без лишних затрат на специализированные методы определиться с рентабельностью данного перехода, либо разработать и протестировать новый алгоритм работы для оборудования, которое в будущем подвергнется модернизации.

Слабые стороны

Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Так как проект исследовательский, следовательно, применяется индивидуальный подход к каждой задаче. Перед тем как перейти к реализации исследования, необходимо изучить информацию о принципах возможности моделирования процессов проходящих во время работы реальной установки, соответственно, на данный этап нужно много времени.

Возможности

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды, проекта.

В виду того что для энергодобывающих компаний переход на газ в качестве топлива становится всё более выгодным, следовательно, и спрос на разработку алгоритмов этого перехода постоянно растёт. Результаты данного проекта позволят оперативно тестировать возможные ситуации, которые могут возникнуть с новым оборудованием и избежать лишних финансовых и временных затрат на исправление возможных допущенных при проектировании ошибок.

Угрозы

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые

имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Первой угрозой для данного проекта является отсутствие коммерческой прибыли так как проект носит сугубо научно-исследовательский характер и не направлено на получение прибыли.

Ещё одной угрозой можно выделить, что рано или поздно компании заинтересованные в использовании результатов данного проекта перестанут в них нуждаться в виду окончания работ по переходу на газ и модернизации имеющегося оборудования.

С помощью SWOT–анализа были выявлены и структурированы сильные и слабые стороны, а также потенциальные возможности и угрозы. Результаты SWOT–анализа представлены в форме SWOT–матрицы и занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Отсутствие затрат на приобретение специализированного оборудования и софта.</p> <p>С2. Актуальность проекта.</p> <p>С3. Наличие всех необходимых для проекта материалов и документации в открытом доступе.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Проект исследовательский и требует индивидуального подхода к каждой задаче.</p> <p>Сл2. Сложная предметная область.</p>
--	---	--

Продолжение таблицы 1

<p>Возможности:</p> <p>В1. Тенденция энергодобывающих компаний к переходу на газ в качестве топлива.</p> <p>В2. Потенциальное уменьшение финансовых затрат и повышение безопасности процесса при переходе на газ и модернизации оборудования.</p>	<p>С1С2С3С4В1В2</p> <p>позволят использовать исследовательскую перспективу проекта.</p>	<p>Сл1Сл2В1В2 большой спрос результатов исследования и тенденция перехода на газ в качестве топлива нейтрализуют слабые стороны проекта.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие коммерческой прибыли.</p> <p>У2. Потеря актуальности и спроса на результаты исследований.</p>	<p>С2У2 так как проект актуален, будут проводиться похожие проекты результаты которых могут быть более предпочтительны для потребителей.</p>	<p>Сл1Сл2У1У2 являются взаимосвязанными факторами.</p>

На основании матрицы SWOT была выявлена стратегия С1С2С3С4В1В2 – дальнейшее развитие проекта для совершенствования принципов моделирования и разработки стендов физического подобия, что бы в конечном итоге на базе полученных данных можно было разработать и протестировать алгоритм для любого типа установки, не прибегая к использованию специализированных средств и софта. Это поможет повысить эффективность предприятий без больших финансовых и временных затрат.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- планирование комплекса предполагаемых работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика поведения научных исследований.

Исполнителями проекта являются студент и научный руководитель. Научный руководитель определяет цели и задачи студента, направляет и контролирует его работу, оценивает результаты проделанной работы и дает рекомендации. Студент полностью отвечает за выполняемую работу.

Таблица 2 – 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	Поиск и анализ материалов по тематике	Руководитель, инженер
	3	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер
	4	Постановка целей и задач работы	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работы по теме	Руководитель, инженер

Продолжение таблицы 2

Работы по реализации проекта	6	Разбор принципов работы реальной установки	Инженер
	7	Разбор принципов работы стенда	Инженер
	8	Подбор необходимых материалов	Инженер
	9	Разработка алгоритма работы стенда	Инженер
	10	Написание программы по составленному алгоритму	Инженер
	11	Сборка стенда	Инженер
	12	Пуск и настройка стенда на необходимый режим работы	Инженер
	13	Проведение экспериментов на стенде и обработка полученных данных	Инженер
Оформление отчета по НИР	14	Составление пояснительной записки	Руководитель, инженер
	15	Подготовка презентации выпускной квалификационной работы	Руководитель, инженер

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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 $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (6)$$

где:

$t_{ожі}$ – 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. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (7)$$

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

$t_{ожі}$ – 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 следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (8)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (9)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, в частности $T_{\text{кал}} = 365$;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, в частности $T_{\text{вых}} = 52$;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году, в частности $T_{\text{пр}} = 14$.

Тогда значение коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,221.$$

Все рассчитанные значения были сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работа в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	3	5	3,8	Руководитель	3,8	5

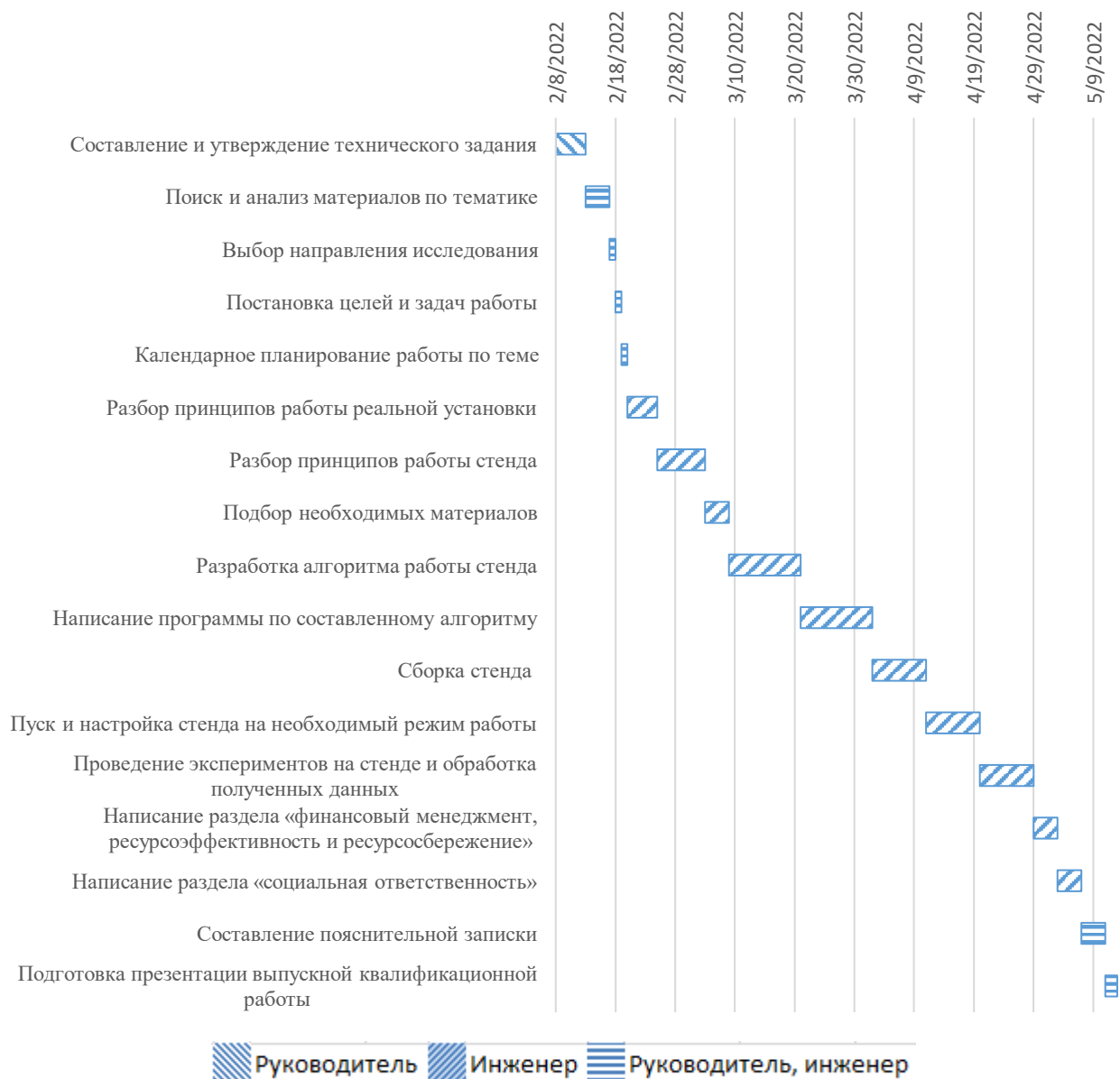
Продолжение таблицы 3

Поиск и анализ материалов по тематике	5	7	5,8	Руководитель, инженер	2,9	4
Выбор направления исследования	1	1	1	Руководитель, инженер	0,5	1
Постановка целей и задач работы	1	2	1,4	Руководитель, инженер	0,7	1
Календарное планирование работы по теме	1	2	1,4	Руководитель, инженер	0,7	1
Разбор принципов работы реальной установки	3	5	3,8	Инженер	3,8	5
Разбор принципов работы стенда	5	7	5,8	Инженер	5,8	8
Подбор необходимых материалов	2	4	2,8	Инженер	2,8	4
Разработка алгоритма работы стенда	8	12	9,6	Инженер	9,6	12
Написание программы по составленному алгоритму	8	12	9,6	Инженер	9,6	12
Сборка стенда	6	8	6,8	Инженер	6,8	9
Пуск и настройка стенда на необходимый режим работы	6	8	6,8	Инженер	6,8	9
Проведение экспериментов на стенде и обработка полученных данных	6	8	6,8	Инженер	6,8	9
Написание раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5	7	5,8	Инженер	2,9	4
Написание раздела «социальная ответственность»	5	7	5,8	Инженер	2,9	4
Составление пояснительной записки	5	7	5,8	Руководитель, инженер	2,9	4
Подготовка презентации ВКР	2	4	2,8	Руководитель, инженер	1,4	2
Итого					70,7	94
				Руководитель	12,9	18
				Инженер	66,9	89

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научных работ представлен в форме диаграммы Ганта, которая представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Календарный план-график проведения НИОКР



6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств, механизмов, ПК), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости

спецоборудования производится по действующим прейскурантам. Расчет затрат по данной статье отображены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. Руб.	Затраты Руб.
Ноутбук	Шт.	1	30000	30000
Arduino NANO	Шт.	1	1470	1470
Осевой вентилятор G1238-D24X-7PBHL - 24 VDC	Шт.	2	1212	2424
Вентилятор EхеGate EX09225H4P-PWM	Шт.	1	450	450
Драйвер на мосфетах IRF3205	Шт.	1	800	800
Понижающий преобразователь XL4016	Шт.	1	170	170
Датчик на базе чипа BMP280	Шт.	2	52	104
Блок питания на 24В и 2А	Шт.	1	720	720
Итого:				36138

6.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, 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. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (10)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 6).

Таблица 6 – 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	56	28
- отпуск	0	0
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени (Фд)	243	271

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (12)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{TC});

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

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 7.

Таблица 7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад, Руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	-	-	1,3	49010	2097,5	13	27267,5
Инженер	19200	-	-	1,3	24960	957,9	67	64179,3
Итого								91446,8

6.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (13)$$

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

Следовательно, дополнительная заработная плата для руководителя составит – 4090,13 рублей, а для инженера – 9626,9 рублей (при $k_{\text{доп}} = 0,15$).
Итого – 13717,025

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (14)$$

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

На 2022 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 8).

Таблица 8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	Итого, руб.
Руководитель	27267,5	4090,13	30	9407,29
Инженер	64179,3	9626,9	30	22141,86
Итого				31549,15

6.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (15)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (36138 + 91446,8 + 13717,025 + 31549,15) \cdot 0,16 = \\ &= 27656,156(\text{рублей}) \end{aligned}$$

6.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл. 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	36138	Пункт 11.4.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	91446,8	Пункт 11.4.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13717,025	Пункт 11.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	31549,15	Пункт 11.4.4
5. Накладные расходы	27656,156	Пункт 11.4.5
6. Бюджет затрат НТИ	200507,131	Сумма ст. 1-5

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

Данный проект разрабатывается в исследовательских целях и предназначен для изучения возможностей моделирования процессов, происходящих в газовом котле и построения на основе этих данных макетов, способных симулировать данные процессы. По этой причине прямая оценка экономической эффективности невозможна.

Вывод по разделу финансовый менеджмент

В ходе выполнения раздела ВКР «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был составлен календарный график проведения научно-исследовательской работы. Согласно данному графику проведение исследования составило 94 дней. В ходе планирования научно-исследовательских работ был определен перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: научный руководитель и инженер. Помимо этого, в ходе проведения SWOT-анализа была выявлены наиболее эффективные и слабые в сложившейся ситуации стратегии, что поможет в ходе исследования.

В дополнении, были рассчитаны сметы затрат на разработку проектного решения. В результате общий затрат на научно-исследовательскую работу составил 200 507,131 рублей.

7. Социальная ответственность

Целью данной работы является разработка макета топки котла, имитирующего процессы, проходящие во время работы реальной установки. Устройство разрабатывается в лабораторных условиях (площадь лаборатории 6 × 8 м). Данный макет предназначен для тестирования различных алгоритмов работы котла без использования реального оборудования, что помогает избежать аварийных ситуаций.

При разработке используются персональный компьютер, набор инструментов и микроконтроллер, расположенные в лаборатории. Рабочий процесс заключается в сборке стенда и тестировании собранного макета, а также в разработке программного обеспечения устройства на языке С.

В данном разделе также рассматриваются вопросы производственной и пожарной безопасности, охраны окружающей среды и эргономики.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Такие положения взаимодействия сотрудника и организации, как режим рабочего времени, оплата труда перерывы в работе, выходные и нерабочие дни и пр., описаны в ТК РФ [133].

Максимальная продолжительность рабочего времени составляет 40 часов в неделю, также на протяжении рабочего дня работнику должен быть предоставлен перерыв не менее 30 минут и не более 2 часов для отдыха и принятия пищи.

Описанная работа, может быть определена как производимая сидя или стоя при незначительном физическом напряжении. Тестирование макета на базе Arduino NANO с микроконтроллером ATMEGA328U является работой с электронным устройством малых габаритов и весом до 0.5 кг и персональным компьютером. Исходя из этого, данная деятельность может быть оценена второй категорией тяжести труда (IIa).

В соответствии с ТК РФ максимальная длительность непрерывной работы с персональным компьютером составляет 2 часа, и при второй категории тяжести труда работник должен иметь 2 перерыва по 15 минут – через 2 часа после начала рабочего дня и через 2 часа после обеденного перерыва.

7.1.2 Основные эргономические требования к компоновке рабочей зоны

Для разработки программной части и тестирования корректности работы алгоритма устройства используется персональный компьютер. При этом рабочее место должно соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [14].

При необходимости подключения персонального компьютеру к корпоративной сети или подключения микроконтроллера к персональному компьютеру необходимо произвести подключение устройств Etheret- или USB-кабелем. При этом данные процессы должны производиться при соблюдении ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» [15].

7.2 Производственная безопасность

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 были определены вредные и опасные факторы, характерные для проводимых работ [16]. Данные занесены в таблицу 10.

Таблица 10 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте инженера-программиста

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
Физические статические перегрузки, связанные с рабочей позой	МР 2.2.9.2128-06 Комплексная профилактика развития перенапряжения и профессиональных заболеваний спины у работников физического труда.
Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой	МР 2.2.9.2311-07. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой). ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

7.2.1 Отсутствие и недостатки искусственного освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны возникает из-за недостатка искусственного освещения в лаборатории и над столами с персональными компьютерами в частности.

Недостаточная освещенность опасна для работника увеличением зрительной нагрузки, что приводит к ухудшению зрения и головной боли, снижая общую работоспособность.

Средствами увеличения освещенности являются дополнительные осветительные приборы.

В соответствии с СП 52.13330.2016 приведена таблица 11 с допустимыми значениями освещенности [17].

Таблица 11 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
При комбинированном освещении		При системе общего освещения	UGR, не более	$K_{п}$, %, не более
всего	от общего			
–	–	300	25	20

7.2.2 Физические статические перегрузки, связанные с рабочей позой

Данный фактор вызван длительным специфическим расположением работника относительно объекта исследования.

Длительное положение в одной рабочей позе со временем приводит к развитию заболеваний опорно-двигательного аппарата (остеохондроз, радикулит, фиброзы и т.д.) и сердечно-сосудистой системы (гипертония, атеросклероз).

Факт возможных физических статических перегрузок ввиду поддержания рабочей позы в соответствии с МР 2.2.9.2128-06 [18] подтверждает количество времени, проводимое в специфической позе – работник более 25% рабочего времени проводит в поддержании рабочей позы (в данном случае – сидя за рабочим столом и персональным компьютером).

В качестве профилактики развития профессиональных заболеваний, вызванных длительным поддержанием рабочей позы, рекомендуется во время установленных в течение рабочего дня перерывов менять положение тела, а также уделять 5-10 минут суставной разминке шеи и плечевого пояса.

7.2.3 Умственное перенапряжение

Умственное перенапряжение связано с разработкой программных модулей и алгоритмов ПО микроконтроллера.

Длительное умственное перенапряжение приводит к стрессовым проявлениям (неврозы, нарушения концентрации и сна).

В качестве профилактики подобных проявлений в соответствии с МР 2.2.9.2311-07 [19] работнику рекомендуется иметь ранее упомянутые перерывы в работе со сменой деятельности и суставной разминкой.

7.2.4 Отклонение показателей микроклимата

В рассматриваемых условиях к отклонению показателей микроклимата приводят перемещение человека по лаборатории, перемещение предметов (кабели, микроконтроллер) и проведение работ с ними стоя или сидя и т.д. При энергозатратах подобной деятельности в 151 – 200 ккал/ч нарушения показателей микроклимата могут отрицательно отразиться на состоянии организма работника.

Продолжительная работа при отклонении показателей микроклимата, связанная с передвижением и перемещением объектов, со временем может привести к травмам и заболеваниям опорно-двигательной системы (миофиброзы, растяжения и т.д.), периферической нервной системы (координаторные неврозы, невриты и т.д.).

Во избежание подобных последствий необходимо обеспечивать стабильные допустимые параметры микроклимата в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [20]. Оптимальные параметры микроклимата приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с		
		оптимальная	допустимая		оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных		
			верхняя граница	нижняя граница						
			на рабочих местах							
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных							
Холодный	Средней тяжести - Па	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	Не более 0,3
Теплый	Средней тяжести - Па	21-23	27	29	18	17	40-60	65 (при 26 °С)	0,3	0,2-0,4

В нормальных условиях рабочая среда отвечает данным показателям.

Для поддержания температуры в помещении в холодный период года используется отопление, для регуляции скорости движения и влажности воздуха следует использовать специализированные увлажнители и проветривать помещение.

7.2.5 Поражение электрическим током

При работе с персональным компьютером и микроконтроллером в случае их неисправности или ошибки работника (неплотно соединенные контакты, поврежденные соединительные провода, короткое замыкание) может произойти поражение электрическим током.

Поражение электрическим током может привести к ожогу, судорожным сокращениям мышц, химическому разложению крови и механическому повреждению тканей.

В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 [21] в таблице 13 приведены предельно допустимые значения силы тока и напряжения прикосновения.

Таблица 13 – Предельно допустимые значения силы тока и напряжения прикосновения

Род тока	U , В	I , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Поскольку сфера деятельности работника, чья квалификация должна соответствовать инженеру-программисту с упором в разработку ПО, ограничена работой с персональным компьютером (без его обслуживания) и микроконтроллером, который в момент работы не находится под напряжением, то в соответствии с Приказом министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 N 903н [22] работнику должна быть присвоена I группа электробезопасности, что должно быть зафиксировано в соответствующем журнале инструктажа по электробезопасности.

Также необходимо определить категорию помещения по электробезопасности. В соответствии с ПУЭ [23] категория помещения лаборатории определена I категорией.

Мерами защиты при работе с электроприборами в данном случае служат устройства защитного заземления, автоматического отключения, контроля и сигнализации.

7.3 Экологическая безопасность

Данный раздел содержит описание факторов влияния проектирования устройства и разработки ПО на окружающую среду, а также источников ее загрязнения, возникающих в процессе работы.

7.3.1 Влияние объекта исследования на селитебную зону

При разработке проектного решения возможна неправильная утилизация неисправных компонентов персонального компьютера и радиоэлектронных компонентов, в результате чего компоненты, содержащие токсичные вещества (конденсаторы и пр.), а также физические фракции (корпуса, оболочки компонентов) могут попасть на жилые территории.

7.3.2 Влияние объекта исследования на атмосферу

При производстве электронных комплектующих для персональных компьютеров и радиоэлектронных компонентов для проектируемого устройства возникают побочные продукты производства, загрязняющие атмосферу. В соответствии с ГОСТ Р 58577-2019 [24] законодательно установлены ограничения на допустимое количество выбросов.

Также загрязнение атмосферы происходит за счет выбросов углекислого газа и прочих продуктов горения во время производства электроэнергии для питания персонального компьютера и микроконтроллера соответственно. Электроснабжение корпуса университета осуществляется ТЭЦ-1 с мощностью 14,7 МВт. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 [25] данный объект относится ко второй (II) категории.

7.3.3 Влияние объекта исследования на гидросферу

Негативное влияние объекта исследования на гидросферу может произойти при неправильной утилизации компонентов персонального компьютера или радиоэлектронных компонентов. При неправильной утилизации (захоронении или утилизации вместе с бытовыми отходами) компоненты могут попасть в сточные, речные и грунтовые воды.

Для снижения вредоносного влияния объекта исследования на гидросферу необходимо сдавать вышедшие из строя компоненты в специализированные приемные пункты, из которых утилизированный продукт пойдет либо на переработку, либо на вторичное использование.

7.3.4 Влияние объекта исследования на литосферу

При неправильной утилизации компоненты электрооборудования, содержащие токсичные вещества или представляющие собой крупную фракцию отходов, могут попасть в почву. Необходимо сдавать электронные компоненты в специализированные пункты приема, откуда компоненты либо пойдут на вторичное использование, либо на переработку методом пиролиза, биометаллургии, электростатической сепарации и т.д.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может спровоцировать объект исследований

При разработке устройства на микроконтроллере и при работе с персональным компьютером в лаборатории могут произойти такие чрезвычайные ситуации, как пожар вследствие короткого замыкания или контакта легковоспламеняющегося материала с выходами компонентов, находящимися под напряжением. Возникновение других ЧС техногенного характера маловероятно.

7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [26], возможный пожар определен классом Е, поскольку возможно возгорание находящейся под напряжением цепи питания персонального компьютера.

При возникновении пожара вследствие короткого замыкания или другой неисправности электрооборудования необходимо воспользоваться первичными средствами пожаротушения в виде углекислотных огнетушителей ОУ-5, ОУ-10

или порошковым ОП-10 в зависимости от того, каким огнетушителем оборудована лаборатория.

Также для предотвращения пожара необходимо соблюдение корректного обращения с оборудованием и проведения уборки на рабочем месте после окончания рабочего дня. Помещение должно быть оборудовано планом эвакуации из здания. Путь эвакуации должен быть свободен.

Поскольку в лаборатории присутствуют стенды и мебель, выполненные из пластика, а также присутствуют электроприборы, то в соответствии с СП 12.13130.2009 [27] данное помещение определяется категорией «Г» (умеренная пожароопасность).

Также во избежание возникновения ЧС не следует проводить коммутацию радиоэлектронных компонентов при поданном на микроконтроллер питания, при выходе из строя комплектующих персонального компьютера следует прекратить работу и сообщить о неисправности системному администратору.

При возникновении пожара и невозможности самостоятельно его ликвидировать следует позвонить по номеру 101 и сообщить о возгорании и месте его возникновения, после чего покинуть помещение в соответствии с планом эвакуации.

Вывод по разделу социальная ответственность

В ходе выполнения данного раздела ВКР приведены основные нормативы, регламентирующие воздействие вредных и опасных факторов при разработке проектного решения. По итогам анализа выявлено, что при нормальных условиях параметры рабочей зоны соответствуют установленным нормативам.

Определена категория помещения по электробезопасности – I категория.

Группа персонала по электробезопасности определена аналогично – I группа.

Определена категория тяжести труда – в соответствии с условиями производимые рабочие процессы характеризуются тяжестью труда категории IIa.

Также рабочее помещение характеризуется категорией «Г» (умеренная пожароопасность) в соответствии с условиями.

Поскольку при разработке проектного решения используется электроэнергия, то объектом, оказывающим самое значительное негативное воздействие на окружающую среду, является ТЭЦ-1, снабжающая электроэнергией корпус университета, данный объект характеризуется категорией II.

Таким образом, были определены основные характеристики рабочей зоны, которые были сравнены со значениями из нормативной документации, в результате чего сделан вывод, что все требуемые параметры находятся в пределах нормы.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана, собрана и протестирована установка физического подобия процессов, проходящих в топке газового котла. Для реализации данного проекта был осуществлён разбор процессов, происходящих в топке газового котла, принципы работы стенда, составлен перечень материалов необходимых для сборки установки, составлен алгоритм работы стенда, осуществлена сборка установки, написана программа для микроконтроллера с реализацией в коде ПИД регуляторов.

Подробным образом был расписан процесс реализации ПИД регуляторов на языке C++. Все составляющие ПИД регулятора и их коэффициенты были рассмотрены по-отдельности, а полученные выводы легли в основу программы, написанной для стенда.

После полной сборки и написания программы были проведены испытания стенда физического подобия. Испытания показали, что стенд функционирует так, как и ожидалось на этапе проектирования. Показания с датчиков поступают в микроконтроллер где обрабатываются регуляторами и управляющие воздействия воспринимаются исполняющими устройствами.

Полученные положительные результаты позволяют спрогнозировать поведение реальной установки при тех же начальных параметрах.

В ходе выполнения раздела ВКР «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был составлен календарный график проведения научно-исследовательской работы. Согласно данному графику проведение исследования составило 94 дней. В ходе планирования научно-исследовательских работ был определен перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: научный руководитель и инженер. Помимо этого, в ходе проведения SWOT-анализа была выявлены наиболее эффективные и слабые в сложившейся ситуации стратегии, что поможет в ходе исследования.

В ходе выполнения данного раздела ВКР приведены основные нормативы, регламентирующие воздействие вредных и опасных факторов при разработке проектного решения. По итогам анализа выявлено, что при нормальных условиях параметры рабочей зоны соответствуют установленным нормативам.

Список используемой литературы

1. Принцип работы котельной на газе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://avia-life.com/printsip-raboty-kotelnoy-na-gaze/>.
2. Газовик промышленное оборудование [Электронный ресурс]. Режим доступа: gazovik-gas.ru/katalog/articles/oborudovanie_kotelnyh_ustanovok/.
3. Neftegaz.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/sistemy-teplosnabzheniya-i-gazosnabzheniya/142497-gazovye-kotelnye/>.
4. AliExpress Arduino NANO ATMEGA328 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/1005002998391675.html?spm=a2g2w.productlist.0.0.6e381a9bhOJd85&sku_id=12000023140452287.
5. ATMEGA328 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.
6. GISTAR Осевой вентилятор G1238-D24X-7PBHL - 24 VDC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gistar.ru/catalog/sku/G1238-D24X-7PBHL/>.
7. ExeGate EX09225H4P-PWM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.exegate.ru/catalogue/fan/fancase/92black/ex283384.html>.
8. Dc motor driver irf3205 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/32852775192.html?gatewayAdapt=glo2rus&sku_id=10000000258425722.
9. XL4016 понижающий преобразователь [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/1005002425496194.html?spm=a2g2w.detail.0.0.5dde1a8dQtimP0&sku_id=12000020606844835.
10. Цифровой модуль I2C/SPI BMP280 [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://aliexpress.ru/item/1005002387867504.html?spm=a2g2w.productlist.0.0.49a35bafz8c9Ae&sku_id=12000020547419805.

11. BOSCH BMP280 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>

12. Классический ПИД регулятор [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.bookasutp.ru/chapter5_2.aspx.

13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683/ (дата обращения 22.05.2022).

14. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения 21.05.2022).

15. ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005187> (дата обращения 21.05.2022).

16. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017-03-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения 15.05.2022).

17. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: дата введения 2017-05-08. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 22.05.2022).

18. МР 2.2.9.2128-06 Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды. Комплексная профилактика развития перенапряжения и профессиональных заболеваний спины у работников физического труда: дата введения 2006-11-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047515> (дата обращения 21.05.2022).

19. МР 2.2.9.2311-07. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности: дата введения 2008-03-18. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200072234> (дата обращения 21.05.2022).

20. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 21.05.2022).

21. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983-07-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения 21.05.2022).

22. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264184> (дата обращения 22.05.2022).

23. Правила устройства электроустановок: дата введения 2003-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216?marker=7D20K3> (дата обращения 21.05.2022).

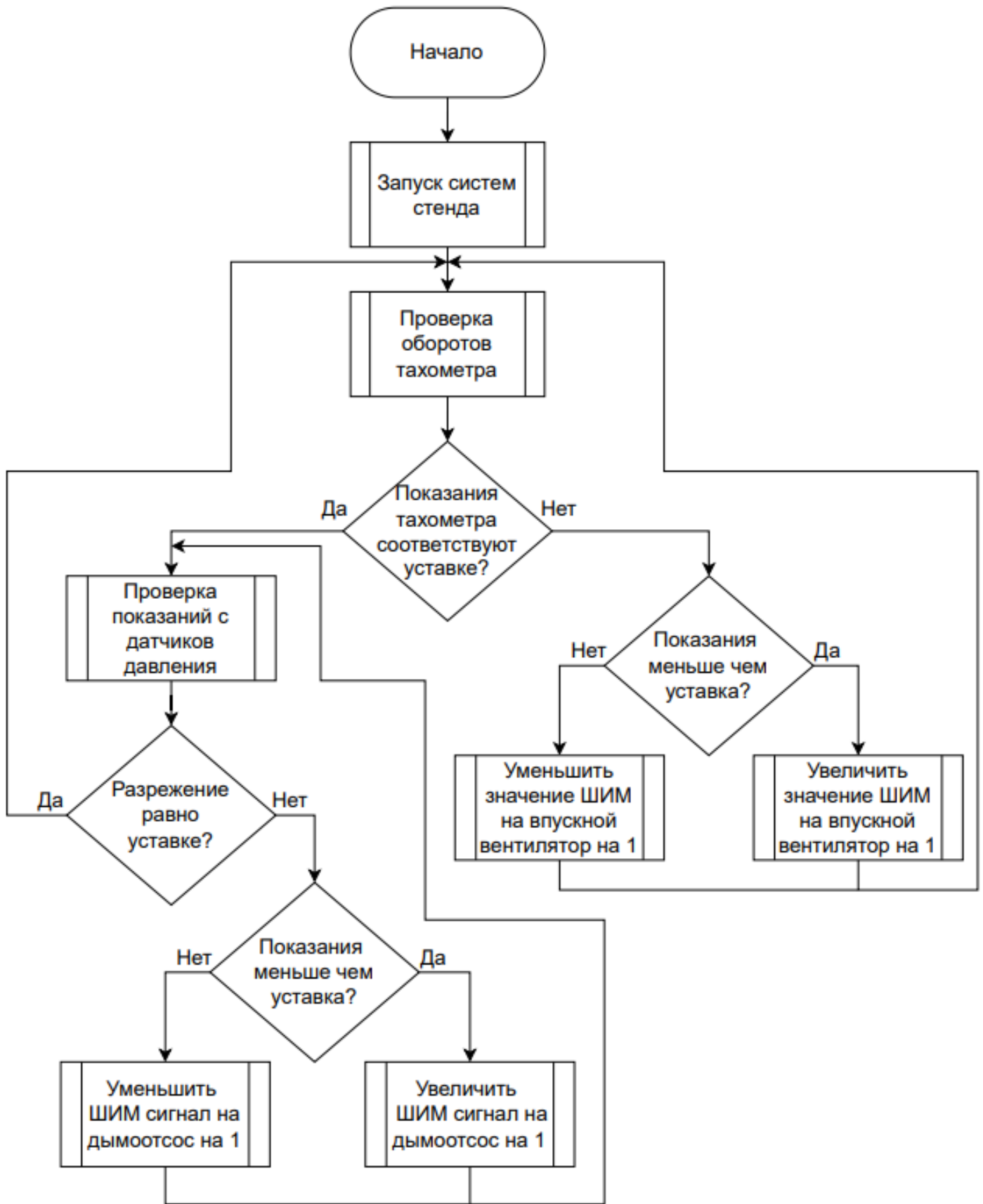
24. ГОСТ Р 58577-2019 Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими хозяйствующими субъектами и методы определения этих нормативов: дата введения 2020-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168569> (дата обращения 22.05.2022).

25. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 N 2398 Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573292854> (дата обращения 22.05.2022).

26. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности": дата введения 2009-05-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения 22.05.2022).

27. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной опасности: дата введения 2009-05-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 22.05.2022).

Приложение А



Приложение Б

Листинг программы

```
//подключение необходимых библиотек
#include <Tachometer.h>
#include <GyverPWM.h>
#include <BMx280I2C.h>
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <GyverPID.h>

//задание адресов для датчиков давления
#define I2C_ADDRESS 0x76
#define I2C_ADDRESS2 0x77

//создание классов
BMx280I2C bmx2801(I2C_ADDRESS);
BMx280I2C bmx2802(I2C_ADDRESS2);
GyverPID pid;
GyverPID pid2;
Tachometer tacho;

//периоды дискретизации для регуляторов
int period = 200;
int period2 = 10;

//настройка параметров запуска программы
void setup() {
    //Настройка последовательного порта
    Serial.begin(9600);
    Serial.setTimeout(50);
    Serial.flush();

    //проверка датчика №1 на работоспособность
    while (!Serial);
```

Продолжение листинга программы

```
Wire.begin();
if (!bmx2801.begin())
{
    Serial.println("begin() failed. check your BMx280 Interface and
I2C Address.");
    while (1);
}
bmx2801.resetToDefaults();
bmx2801.writeOversamplingPressure(BMx280MI::OSRS_P_x16);
//проверка датчика №2 на работоспособность
while (!Serial);
Wire.begin();
if (!bmx2802.begin())
{
    Serial.println("begin() failed. check your BMx280 Interface and
I2C Address.");
    while (1);
}
bmx2802.resetToDefaults();
bmx2802.writeOversamplingPressure(BMx280MI::OSRS_P_x16);
//Настройки ПИД регулятора дымоотсоса
pid.Kp = 3;
pid.Ki = 5;
pid.Kd = 0.8;
pid.setDt(period);
pid.setDirection(NORMAL);
pid.setpoint = 260;
//Настройки ПИД регулятора впускного вентилятора
```

Продолжение листинга программы

```
pid2.Kp = 20;
pid2.Ki = 0;
pid2.Kd = 1;
pid2.setDt(period2);
pid2.setDirection(NORMAL);
pid2.setpoint = 2000;
//настройка пинов генерации ШИМ сигнала управления
вентиляторами
//вентилятор дымоотсоса
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(7, OUTPUT);
digitalWrite(7, HIGH);
//запустить ШИМ на D9 с частотой 25'000 Гц, режим FAST_PWM
чтобы избавиться от писка
PWM_frequency(9, 25000, FAST_PWM);
//впускной вентилятор
pinMode(3, OUTPUT);
//пин тахометра вентилятора подтягиваем к VCC
pinMode(2, INPUT_PULLUP);
//настраиваем прерывание
attachInterrupt(0, isr, FALLING);
}
// обработчик прерывания для тахометра
void isr() {
    tacho.tick();
}
//основная часть программы
void loop() {
```

Продолжение листинга программы

```
//измерение давлений с датчиков и расчёт разницы давлений
bmx2801.measure();
bmx2801.hasValue();
bmx2802.measure();
bmx2802.hasValue();
int x = bmx2801.getPressure() - bmx2802.getPressure();
//таймер для PID регуляторов
static uint32_t tmr;
if (millis() - tmr > period2) {
    tmr = millis();
    //дымоотсос
    pid.input = x;
    pid.getResult();
    //ограничение диапазона ШИМ до 235 для более стабильной
работы
    if (pid.output < 235)
    {
        PWM_set(9, pid.output);
        digitalWrite(7, HIGH);
    }
    else
    {
        PWM_set(9, 235);
        digitalWrite(7, HIGH);
    }
    //впускной вентилятор
    pid2.input = tacho.getRPM();
    pid2.getResult();
}
```

Продолжение листинга программы

```
        analogWrite(3, pid2.output);
    }
    //ВЫВОД значений в порт и плоттер
    Serial.print("x: "); Serial.print(x); Serial.print(' ');
    Serial.print("pid.output: "); Serial.print(pid.output); Serial.print(' ');
    Serial.print("pid.setpoint: "); Serial.print(pid.setpoint); Serial.print(' ');
    Serial.print("pid2.input/5: "); Serial.print(pid2.input/5); Serial.print(' ');
    Serial.print("pid2.setpoint/5: ");Serial.println(pid2.setpoint/5);
    //Serial.print("pid2.output: ");Serial.print(pid2.output); Serial.print(' ');
    //ВЫЗОВ функции парсинга
    parsing();
}
// управление через плоттер
void parsing() {
    if (Serial.available() > 0) {
        char incoming = Serial.read();
        int value = Serial.parseInt();
        switch (incoming) {
            //d менят уставку по разрежению
            case 'd': pid.setpoint = value; break;
            //g менят уставку по оборотам в минуту для впускного
            //вентилятора
            case 'g': pid2.setpoint = value; break;
        }
    }
}
```