

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка лабораторной установки исследования методов управления приводами вентиляции для контроллера Вэст-03</b>

УДК 004.31:62–714.75–83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM99	Устименко Андрей Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	Д.т.н., профессор		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	–		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)–1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)–2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)–3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)–4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)–5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)–6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)–1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)–2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ПК(У)–1	Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности, с использованием средств автоматизации
ПК(У)–2	Способен применять методы создания и анализа математических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности.
ПК(У)–3	Способен разрабатывать, реализовывать и осуществлять контроль выполнения технических и организационных мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности.
ПК(У)–4	Способен формулировать технические задания, анализировать различные варианты и искать компромиссные решения.
ПК(У)–5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_      Гарганеев А. Г.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM99	Устименко Андрею Николаевичу

Тема работы:

Разработка лабораторной установки исследования методов управления приводами вентиляции для контроллера Вэст–03	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.11.2020 № 335–12/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В качестве объекта исследования выбрать точную вентиляцию.</li> <li>2. Разработать основные узлы системы вентиляции и с помощью современных средств прототипирования напечатать их на 3D принтере.</li> <li>3. Разработать переходную плату (адаптер) для подключения измерительных и исполнительных устройств.</li> <li>4. Создать стартовый шаблона в виде мнемосхемы, для получения трейсинга в программном комплексе CoDeSys.</li> <li>5. Изучить сценарий системы вентиляции в среде Akiag.</li> <li>6. Создать собственную библиотеку FBD блоков в программном комплексе CoDeSys совмещенную со средой Akiag для конвертации проектов.</li> <li>7. Представить методику настройки динамических звеньев.</li> </ol>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общие сведения о приточной вентиляции.</li> <li>2. Разработка прототипа.</li> <li>3. Согласование CoDeSys с разработанной платой.</li> <li>4. Описание языка Akiar и сценария вентиляции.</li> <li>5. Подготовка функциональных блоков в CoDeSys.</li> <li>6. Перевод сценария вентиляции из Akiar в CoDeSys.</li> <li>7. Настройка типовых контуров.</li> <li>8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>9. Социальная ответственность.</li> <li>10. Заключение.</li> </ol>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общий вид разработанного стенда.</li> <li>2. Принципиальная электрическая схема разработанной платы.</li> <li>3. Мнемосхема контрольной панели управления оператора.</li> <li>4. Переходный процесс температур.</li> <li>5. FBD часть сценария системы вентиляции.</li> </ol>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Креницына Зоя Васильевна
«Социальная ответственность»	Авдеева Ирина Ивановна
«Раздел на английском языке»	Михайлова Ольга Владимировна

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

Введение; заключение.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.09.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM99	Устименко Андрей Николаевич		

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Уровень образования – Магистр  
 Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Период выполнения весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

<b>Магистерская диссертация</b> (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
---

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.10.2020	Календарное планирование работ по теме	2
20.10.2020	Выбор направления исследования	2
25.10.2020	Подбор и изучение материалов по теме	2
26.10.2020	Разработка лабораторной установки, изготовление всех элементов	3
16.11.2020	Разработка платы	4
28.11.2020	Сборка установки	2
08.01.2021	Изучение сценариев (логики) систем вентиляции	4
22.01.2021	Разработка библиотеки Akiar в CoDeSys	4
15.03.2021	Исследования динамических процессов	3
18.04.2021	Методика настройки динамических контуров	4
05.05.2021	Технико–экономические расчеты	3
12.05.2021	Вопросы экологической безопасности	3
18.05.2021	Составление пояснительной записки	4
22.05.2021	Итого	40

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	д.т.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM99	Устименко Андрей Николаевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02«Электроэнергетика и Электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 738 тыс. руб. Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 1 балла (1,35) Оклад руководителя – 48 107 руб. Оклад инженера – 21 611 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	материальные расходы 30 % расходы на оплату труда 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30,2% отчисления на социальные нужды

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	SWOT – анализ разработанного лабораторного стенда. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Разработка устава научно–технического проекта	Планирование работ проекта: – определение структуры работ; – определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат на проект: – расчет материальных затрат; – амортизация; – основная заработная плата исполнителей; – отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); – накладные расходы; – формирование затрат технического проекта. Оценка ресурсоэффективности проекта.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение ресурсной эффективности исследования.

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

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. SWOT–анализ
4. Иерархическая структура работ проекта
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	20.03.2021
---	------------

**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
5AM99	Устименко Андрей Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM99	Устименко Андрей Николаевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02«Электроэнергетика и Электротехника»

Тема ВКР:

Разработка лабораторной установки исследования методов управления приводами вентиляции для контроллера ВЭСТ–03

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

**Объект исследования** – разработка лабораторной установки, исследование динамических процессов в системе вентиляции для контроллера ВЭСТ–03, разработка методики настройки динамических контуров.

**Рабочая зона** – лаборатория электроники и микропроцессорной техники, учебные классы промышленных предприятий. Комплект лабораторного оборудования состоит из набора программных и аппаратных средств. Состав: источник питания (12В, 2А), четыре термистора (NTC3950–100k), сервопривод (SG90), вентилятор (12В), калорифер (выполнен на 40 резисторах 1В, 150 Ом). Площадь отапливаемого рабочего помещения 36 м<sup>2</sup>, естественная вентиляция, освещение смешанное, наличие ПК и рабочего стола оператора.

**Области применения** – для организации полноценного обучения студентов и проведения исследовательских работ. Эта техника позволяет будущим специалистам получить не только теоретические, но и практические навыки работы. Только с помощью учебных лабораторных стендов можно безопасно и максимально приближенно к реальности работать с виртуальными и реальными объектами управления.

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

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.4.299–2015 и ТК РФ от 30.12.2001 N197–ФЗ. ресурсоэф

Законодательные и нормативные документы по теме:

СП 2.13130.2020;  
СанПиН 2.2.4.548–96;  
СН 2.2.4/2.1.8.562–96;  
СП 52.13330.2016;  
ГОСТ Р 55710–2013;  
ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ;  
СП 60.13330.2016;  
ГОСТ 12.0.004–2015;  
ГОСТ 33542–2015;  
ГОСТ 26522–85;  
ГОСТ 28249–93;  
ГОСТ IEC TR 61340–5–2–2021;  
ГОСТ IEC 61340–5–1–2019;



	<p>СП 2.2.3670–20;  ГОСТ 31192.2–2005;  СН 2.2.4/2.1.8.566–96;  ГОСТ Р 50571.3–2009;  ГОСТ Р 50923–96;  Федеральный закон № 426–ФЗ от 28.12.2013 г.;  Федеральный закон № 421–ФЗ от 28.12.2013 г.;  Федеральный закон № 123–ФЗ от 22.07.2008 г;  Конституция Российской Федерации.</p>
<b>2.Производственная безопасность</b>	<p>Выявить вредные факторы в лаборатории электроники и микропроцессорной техники, учебных классах промышленных предприятий: шум, освещение, микроклимат, вибрации.</p> <p>Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к технике безопасности при работе с ПК;</li> <li>– влияние психофизиологических факторов: монотонность труда, высокий уровень зрительных нагрузок, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение.</li> </ul> <p>Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: электрический ток, короткое замыкание, статическое электричество.</p> <p>Предлагаемые средства защиты: средств нет, соблюдение техники безопасности.</p>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>Твердые отходы: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти электроники и микропроцессорной техники, воздействующие на литосферу.</p> <p>Размещение отходов на свалках ведет к выделению метана. Сжигание отходов ведет к выбросу газов из труб сжигающих их заводов. Эти газы содержат опасные химические вещества, воздействующие на атмосферу.</p> <p>Микропроцессорная техника, содержащая в себе тяжелые металлы, воздействующие на гидросферу.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p>Определить перечень наиболее возможных ЧС: пожар. Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара.</p> <p>Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации её последствий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита;</li> <li>– обеспечение средствами индивидуальной защиты;</li> <li>– организационная эвакуация работников.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

01.03.2021

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	–		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM99	Устименко Андрей Николаевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 страница, 33 рисунка, 21 таблица, 32 источника.

Ключевые слова: вентиляция, система вентиляции, автоматика, автоматизация, методы управления приводами, CoDeSys, лабораторная установка, переходные процессы, исследование динамических процессов, методика настройки динамических контуров.

Цель работы – разработать лабораторную установку для исследования методов управления приводами вентиляции для контроллера ВЭСТ–03, представить результаты настройки динамических контуров управления.

В процессе исследования проводилось исследование системы вентиляции, сценариев и методов реализации, программных продуктов.

В результате исследования была реализована модификация прототипа лабораторной установки, разработанной во время обучения на бакалавриате и представлена ее работоспособность. Написана собственная библиотека на FBD блоках, которая позволяет конвертировать проекты из одной программной среды в другую (из Akiag в CoDeSys и наоборот), причем позволяет не опасаться потери блоков при использовании в других версиях программы. Дана методика настройки динамических контуров управления для студентов и обслуживающего персонала.

Область применения: обучение, переобучение и повышение квалификации специалистов.

Область применения: Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, моделирование в Scilab, технические узлы и дизайн установки в Solid Works, переходная плата разработана в KiCad, управления стендом осуществляется с помощью CoDeSys.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1 РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА</b> .....	6
1.1 Сравнение контроллера НПО ВЭСТ и разработанной платы .....	8
1.2 Подключение промышленных исполнительных и измерительных устройств .....	12
1.3 Согласование CoDeSys с разработанной платой .....	17
<b>2 ОПИСАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОНТРОЛЛЕРА НПО ВЭСТ И CODESYS</b> .....	21
2.1 Описание языка Akiag и схемы вентиляции .....	21
2.2 Подготовка функциональных блоков в CoDeSys .....	25
2.3 Перевод сценария вентиляции из Akiag на CoDeSys.....	31
<b>3 НАСТРОЙКА ТИПОВЫХ КОНТУРОВ</b> .....	33
<b>4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ</b> .....	38
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	38
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	38
4.1.2 SWOT – анализ .....	40
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	41
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	42
4.2 Инициация проекта .....	43
4.3 Планирование управления научно–техническим проектом .....	44
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта .....	44
4.3.2 Контрольные события проекта .....	45
4.3.3 План проекта.....	46
4.4 Контрольные события проекта .....	47
4.4.1 Определение стоимости материальных затрат .....	49
4.4.2 Амортизация .....	50
4.4.3 Полная заработная плата исполнителей .....	50
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	51
4.4.5 Накладные расходы.....	51
4.4.6 Формирование сметы проекта.....	52
4.5 Формирование сметы проекта.....	52
<b>5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</b> .....	56
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	56
5.2 Производственная безопасность .....	58
5.2 Анализ выявления вредных, опасных факторов и мероприятия по снижению уровней воздействия.....	59
5.2.1 Шум.....	59
5.2.2 Освещение .....	60
5.2.3 Микроклимат.....	62
5.2.4 Электрический ток и короткое замыкание .....	64

<b>5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</b>	<b>68</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>70</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>72</b>
<b>Приложение А.....</b>	<b>76</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>77</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>80</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей любой промышленности является динамическое, пропорциональное развитие общественного производства, повышение эффективности, увеличение производительности труда, улучшение качества продукции, ускорение научно – технического прогресса. Все это достигается путем автоматизации системы т.е. сокращением участия человека в технических операциях, поскольку «человеческий фактор» может приводить к различным ошибкам, сбоям, авариям.

На сегодняшний день особое внимание уделяется технологии создания программного обеспечения для систем, построенных на базе ПЛК, и программному программированию на языках стандарта МЭК 61131–3.

Стандарт МЭК 61131–3 был создан для повышения скорости и качества разработки программ для ПЛК, а также создания языков программирования, ориентированных на технологов, обеспечение соответствия ПЛК идеологии открытых систем, исключение этапа дополнительного обучения при смене типа ПЛК. Данная среда содержит все необходимые средства для написания, тестирования и отладки программ с помощью эмуляторов и реальных ПЛК, а также множество готовых фрагментов программного кода.

Ошибки в прикладном программном обеспечении ПЛК способны приводить к потере синхронной работы механизмов, что может стать причиной их поломки и привести к травмам обслуживающего персонала. Правильно спроектированная система должна содержать элементы блокировки, исключающие такую возможность [1].

В настоящее время ощущается жесткий дефицит квалифицированных кадров, умеющих работать с ПЛК и понимать алгоритм работы автоматике. Решению этой проблемы посвящена данная работа.

Задачей любого учебного заведения является подготовка высококвалифицированных кадров, имеющих не только теоретические знания, но и практические навыки. В процессе выполнения лабораторных работ прикладываются максимальные усилия в усвоении полученных теоретических знаний и приобретению практических навыков (обращение с различным оборудованием и программными средами).

В качестве примера была взята система приточной вентиляции, которая достаточно сложна и имеет широкое применение, на базе этой системы и была разработана лабораторная установка. Она состоит из воздушного клапана, приводимого в движение приводом, канального фильтра, который благодаря датчику давления определяет пригодность подаваемого воздуха в помещение, калорифера (электрического или водяного) и вентилятора «сердца» всей системы. Разумеется, существуют и более сложные системы, но мы остановимся на наиболее распространенной структуре.

Часто такая простая задача, как например настройка динамических параметров ПИД регулятора, алгоритма работы в нештатных ситуациях, вызывает у молодого специалиста затруднения. Это происходит даже в комфортных для работы условиях в офисе. На объекте «в полевых условиях», где идет производственный процесс (шум работающего оборудования, вибрации, недостаточная освещенность, плохая связь) специалист либо не справляется, либо некорректно настраивает всю автоматику.

Для построения системы управления в установке было решено использовать программный пакет CoDeSys, который имеет все необходимые элементы. На сегодняшний день данная программа является лидером среди МЭК комплексов и с ее помощью программируются свыше полумиллиона контроллеров ежегодно [3].

Стендовая система разумеется существует, но их стоимость велика, поэтому с помощью современных способов прототипирования 3D принтера было решено сделать сравнительно дешевый, удобный, мобильный стенд, и что более важно с открытым функционалом. От ПЛК, было принято решение отказаться, поскольку самый дешевый и распространенный ОВЕН ПЛК100 имеет стоимость от 15 тыс. руб. [4], а использование встроенного эмулятора в CoDeSys дает возможность использовать переходную плату, которая выступает в качестве некоего адаптера для подключения исполнительных (привода, калорифера) и измерительных (датчики температуры) устройств.

Таким образом имеется возможность реализовать систему обучения на стендовом оборудовании при помощи, распространенной среды CoDeSys.

В качестве прототипа для создания переходной платы будет использоваться контроллер НПО ВЭСТ. Данный контроллер используется для обширных целей в автоматике, поэтому разработка платы будет опираться именно от него. Будут освещены технические параметры, возможности подключения различных датчиков и интерфейсов связи. Для удобства прошивки и связи с ПК планируется использовать UART TTL протокол, а именно Wi-Fi модуль.

Также планируется рассмотреть различные сценарии вентиляции, написанные на web платформе Akiar и на одном из выбранных действующих объектов будет рассмотрена ее работа.

После чего будет создана собственная библиотека на FBD блоках позволяющая конвертировать проекты из одной программной среды в другую, которая позволит не опасаться потери блоков при использовании в других версиях программы и на более понятном языке Akiar производить обучение по использованию специализированной среды программирования стандарта МЭК CoDeSys.

По полученной трассировке системы будут определены динамические характеристики с помощью модального метода и получены коэффициенты ПИД-регулятора с соответствующим переходным процессом в среде Scilab.



## 1 РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА

За идею была взята выпускная квалификационная работа, выполненная при обучении на бакалавриате. Прототип лабораторного стенда претерпел ряд существенных изменений и модификаций, значимыми из которых стала замена принципиальной схемы обладающая расширенным функционалом, которая выступает в качестве некоего адаптера для подключения исполнительных и измерительных устройств. Также был изменен и дизайн стенда, за основу стенда, имитирующего помещение, был взят ящик-чемодан алюминиевый с габаритами 430x310x130 мм, добавлены переключатели аварий и индикация. После ряда изменений лабораторный стенд принял вид, показанный на рис. 1.

Очень важно иметь в качестве исполнительного устройства систему пере-направления воздушных потоков, для этих целей используется воздушный (обратный) клапан. Управляется механически, позволяет в процентном соотношении в зависимости от направления производить смешивание свежего воздуха, подаваемого с улицы или других помещений с воздухом, который находится внутри помещения. Как правило конструктивно выполняют трех или четырех ходовые, для его управления используется электропривод постоянной скорости, который поворачивает лопасти или набор лопастей в заданное положение.

Имеются проблемы в системах управления на замороженных объектах, после ночного состояния лопасти могут примерзнуть, поскольку с одной стороны положительная, а с другой отрицательная температура. За частую фиксирование лопасти приводит к тому, что мощности двигателя не хватает, чтобы их сдернуть или наоборот, слишком большая мощность, что приведет к их поломке, поэтому воздушные клапаны оборудуются системами электроподогрева в предстартовом режиме. Очень важно понимать, что специалист обязан прописать это в программе, чтобы технолог мог учесть этот вариант и перед запуском вентиляционной системы подогреть лопасти обратного клапана.

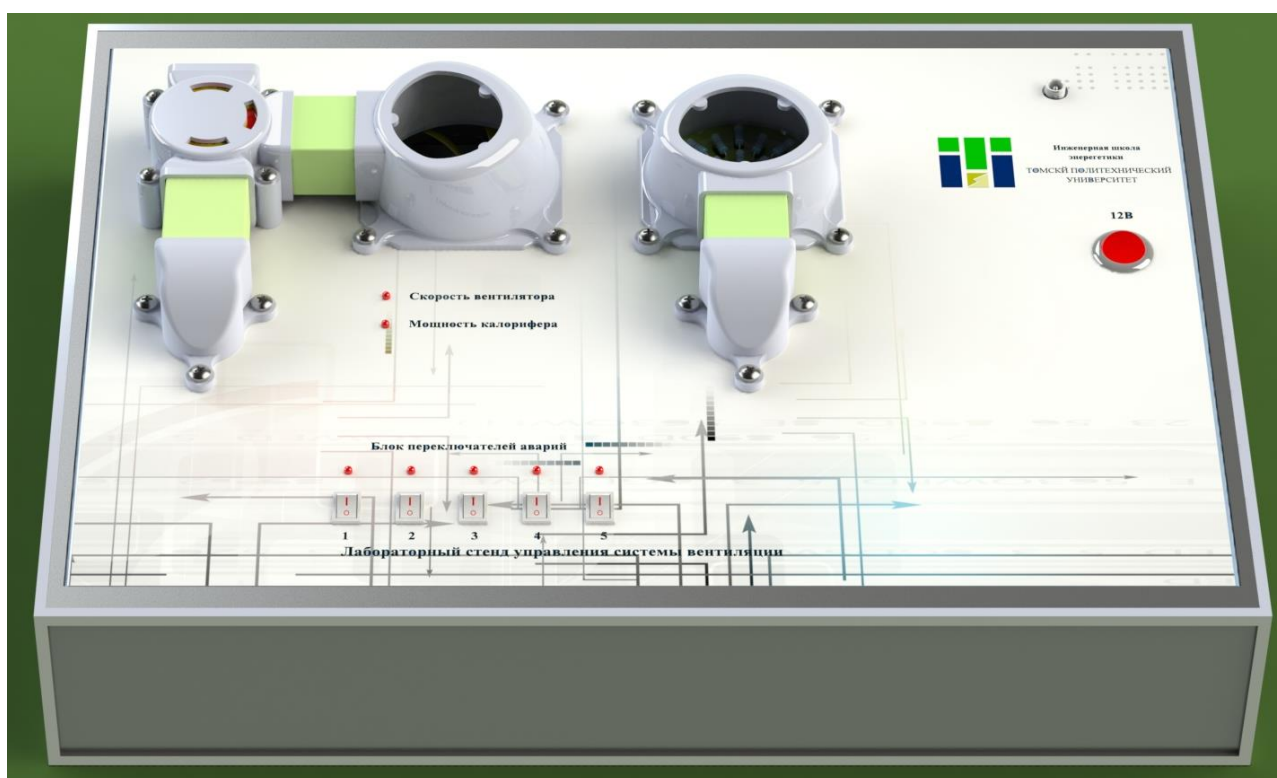
Не всякий объект позволяет запускать воздух без фильтрации, поэтому большая часть систем вентиляции снабжается фильтром. Фильтр выполняет свою функцию ограниченно количество времени и зависит от того на сколько загрязнен воздух, который проходит через него. Признаком, который говорит о

необходимости замены является перепад давления, за которым необходимо следить.

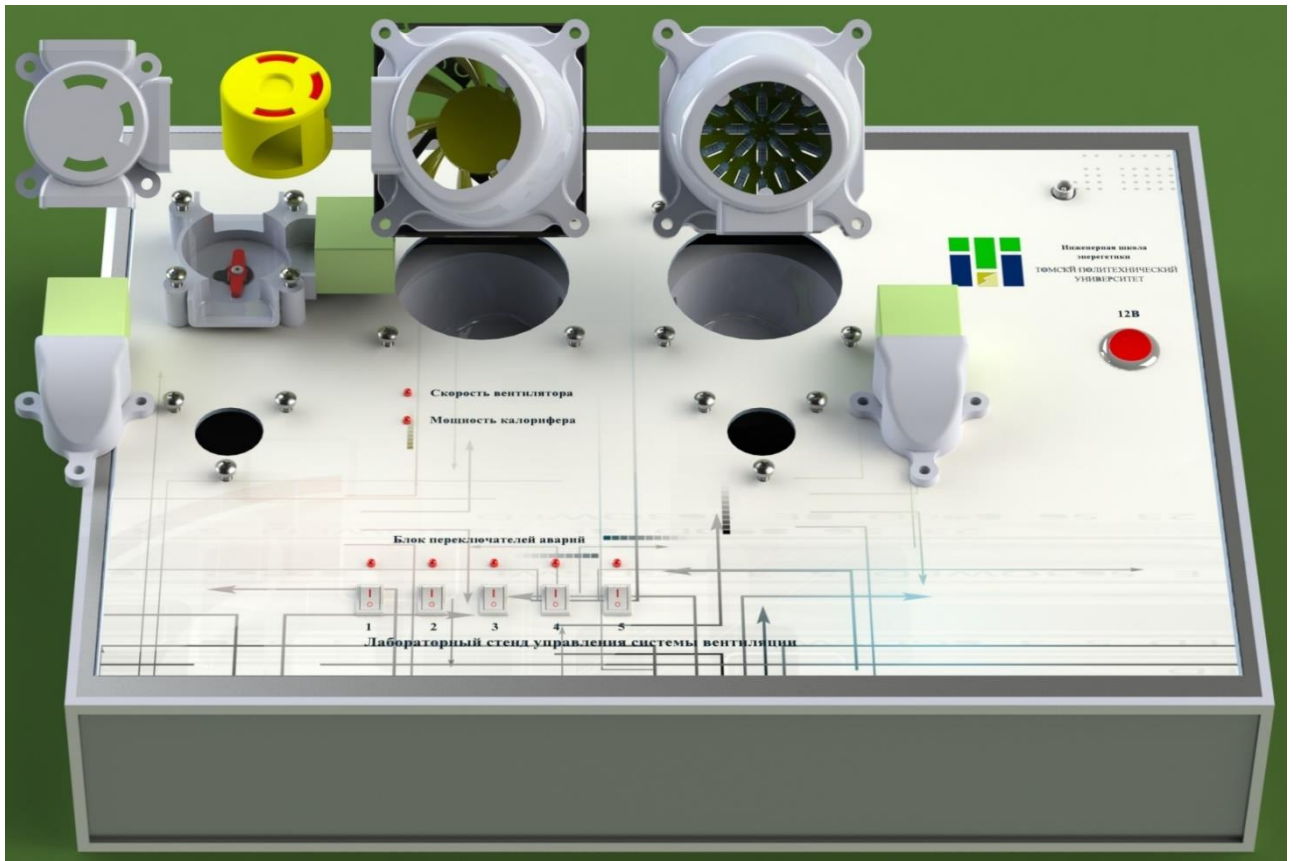
Калорифер – для обеспечения теплообмена за счет нагревания воздушного потока с помощью соприкосновения его с определенным количеством нагревающих элементов. В холодных местах установки систем вентиляции, воздух необходимо подавать на прогретый калорифер, в противном случае калорифер в течении нескольких минут придет в негодность.

Вентилятор – для обеспечения воздушного потока.

Автоматизация многих объектов является специфическим процессом, где всегда необходимо учитывать климатическое исполнение, особенности исполнительных и измерительных устройств и др. факторы, т.е. логики работы системы нет в стандартных библиотеках и ее приходится дописывать самостоятельно, чтобы система функционировала. Поэтому программирование на технологическом уровне очень важно.



а)



б)

Рисунок 1 – Разработанный лабораторный стенд  
а) общий вид, б) при разнесении элементов

### 1.1 Сравнение контроллера НПО ВЭСТ и разработанной платы

В качестве аналога был взят контроллер ВЭСТ–03, внешний вид которого показан на рис. 2. Программируется на работу по определенному сценарию на web платформе AKIAR. Его назначением является создание систем управления малыми и средними объектами такими как: тепловые пункты, вентиляция, тепловые завесы, водогрейные котельные, водопроводные насосные станции, системы диспетчеризации, эксклюзивные системы автоматизации и тд. Контроллер ВЭСТ зарекомендовал себя на рынке и используется для обширных целей в автоматике, поэтому разработка платы отталкивалась именно от него. Сведем основных технические характеристики в табл. 1 [5].

Таблица 1 – Сравнительная таблица ВЭСТ–03 и разработанной платы

Наименование характеристики	ВЭСТ–03	Разработанная плата
	Значение	
Напряжение питания постоянного тока частотой 50Гц	12В	3,3 или 5В
Количество аналоговых входов	8	8
Количество аналоговых выходов с ШИМ	2/2	2/2
Количество цифровых входов		
Количество симисторных выходов	4	–
Количество дискретных входов	8	8/8
Количество дискретных выходов	8	
Интерфейс связи	RS–232, RS–485, Ethernet 10Мбит/с	RS–232, wi–fi, Bluetooth

Рассмотрим более подробно разработанную плату и ее функции. Принципиальная электрическая схема разработанной платы показана на рис. 3, а 3D с компонентами на рис. 4.

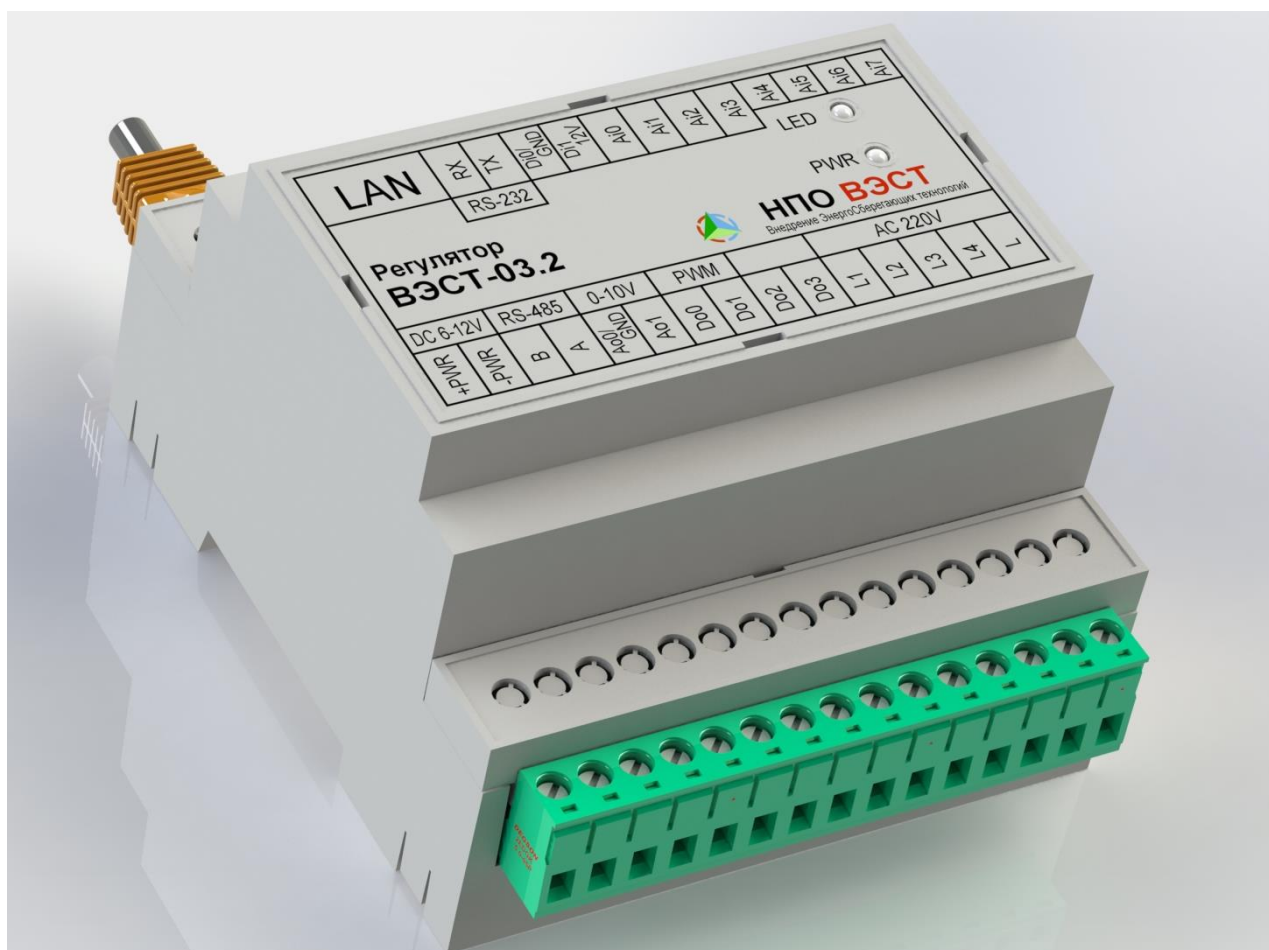


Рисунок 2 – Внешний вид ВЭСТ–03

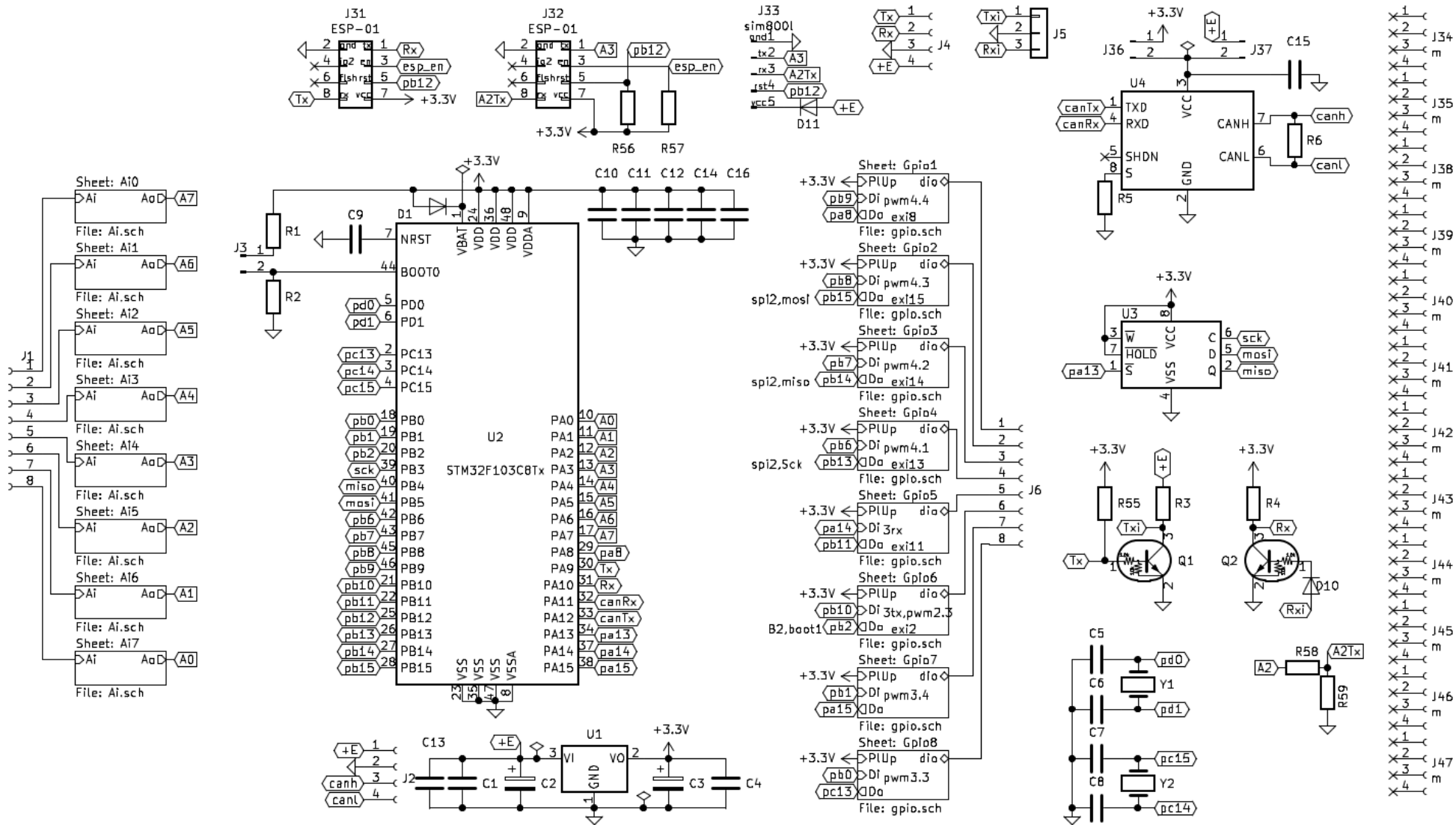


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема разработанной платы



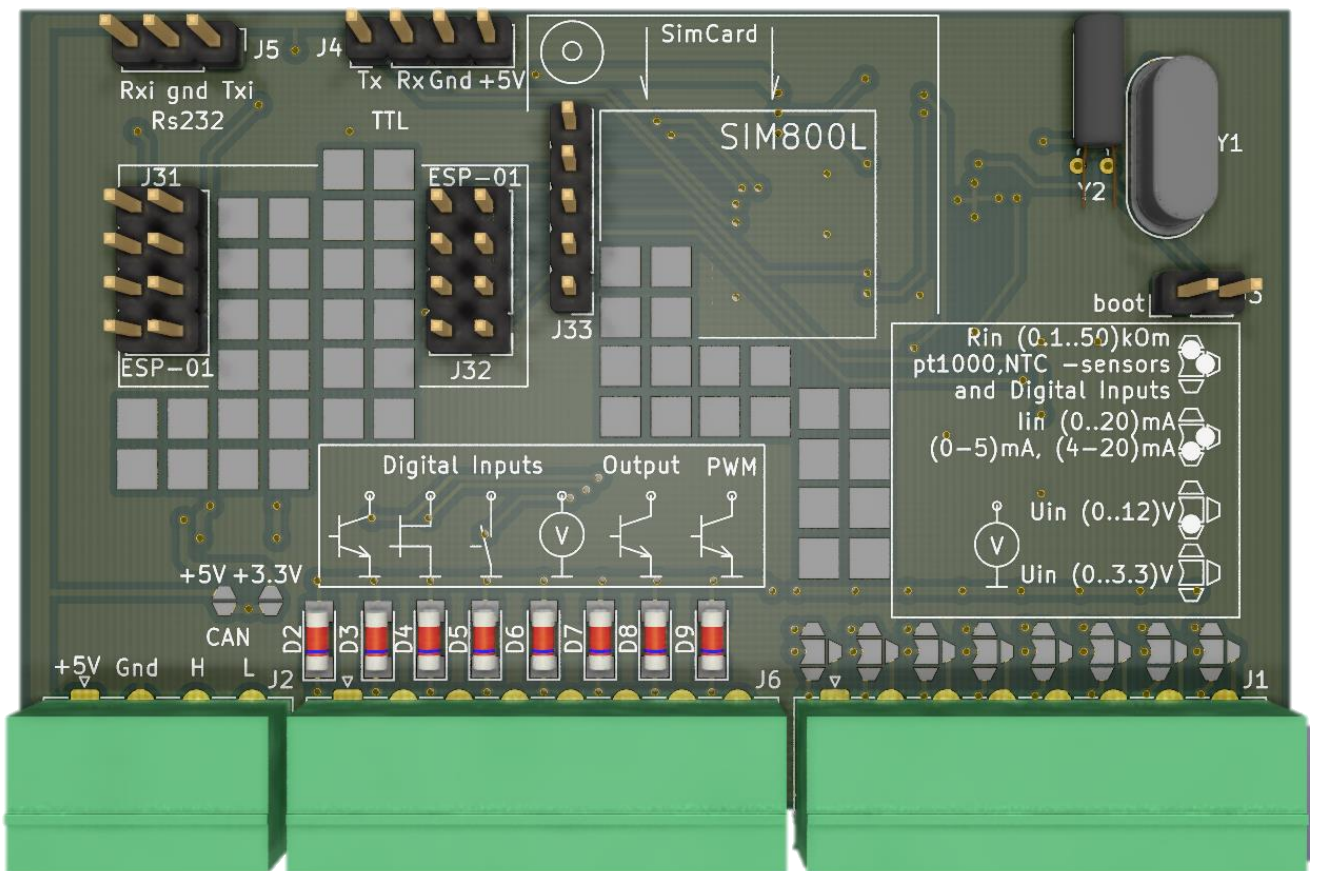
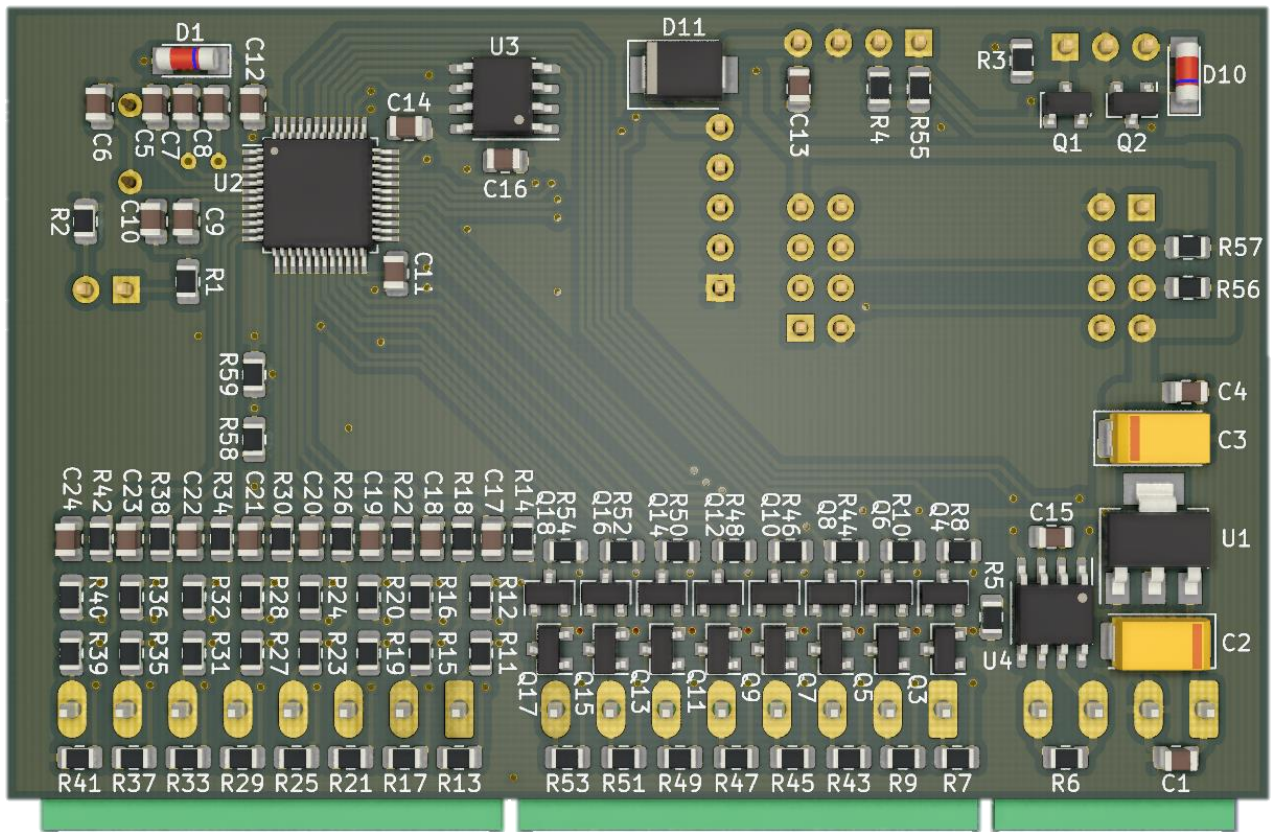


Рисунок 4 – Внешний вид разработанной платы

## 1.2 Подключение промышленных исполнительных и измерительных устройств

Реализованная плата будет использована для обучения, разработки и создания различных рабочих проектов. В основе платы лежит микроконтроллер STM32F103C8T6, а связь для с ПК и прошивки будет осуществляться по UART TTL протоколу.

Питание платы осуществляется через линейный стабилизатор 3,3 или 5 В в зависимости от положения перемычки.

Эта плата имеет 8 аналоговых входов и 8 унифицированных цифровых (дискретных) входов/выходов, т.е. они могут быть использованы в качестве аналоговых выходов совместимых с ШИМ.

Аналоговые выходы служат для плавного управления, подключенными устройствами, схема подключения показана на рис. 5. Разделение у аналоговых выходов такое же, как и у входов (по току и по напряжению).

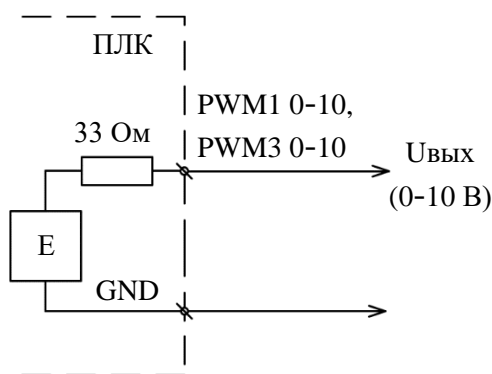


Рисунок 5 – подключение внешних устройств с управляющим сигналом напряжения 0 – 10 В (см. рис. 4, J6)

Аналоговые входы служат для непрерывного ввода сигнала с датчиков и других внешних устройств. Работа с определенным типом датчика производится путем установки перемычки на плате, как показано на рис. 6. Выбор одного из унифицированных токовых сигналов 0–5 мА и 4–20 мА осуществляется на этапе программирования платы.

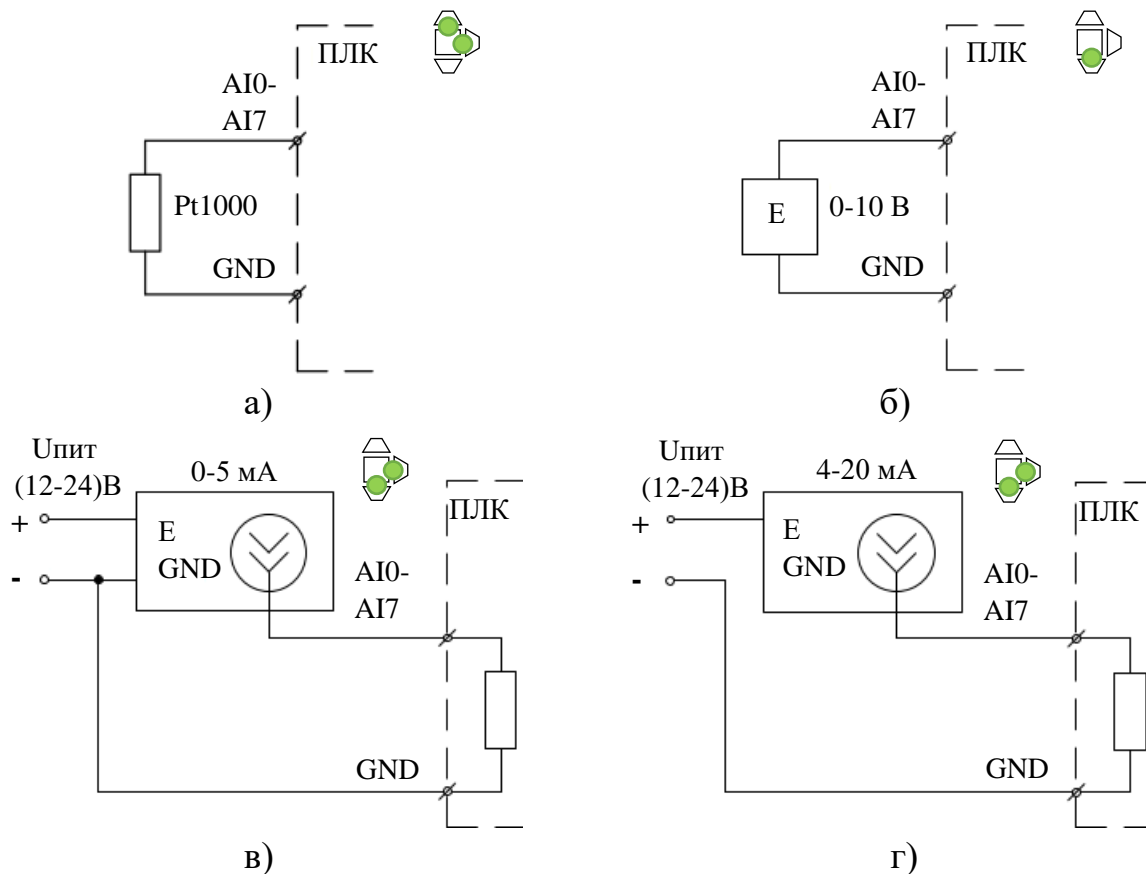
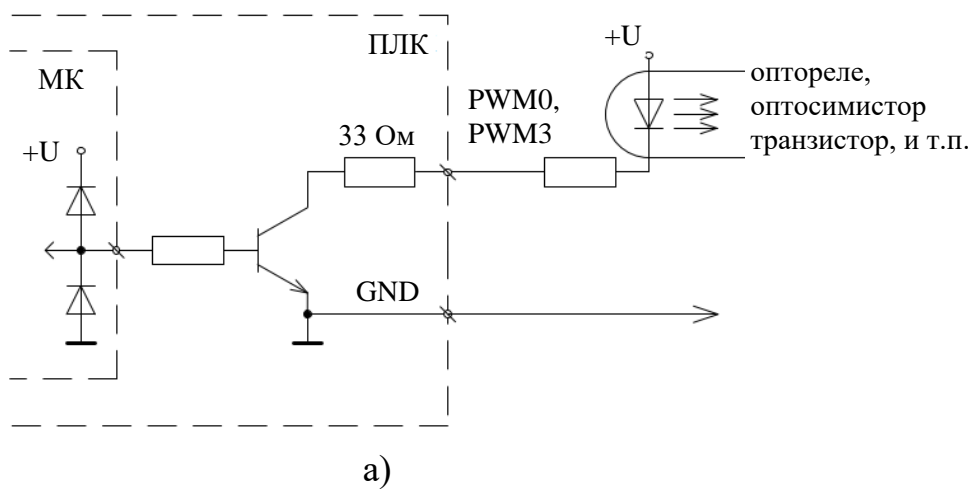


Рисунок 6 – Подключение датчиков (см. рис. 4, J1)

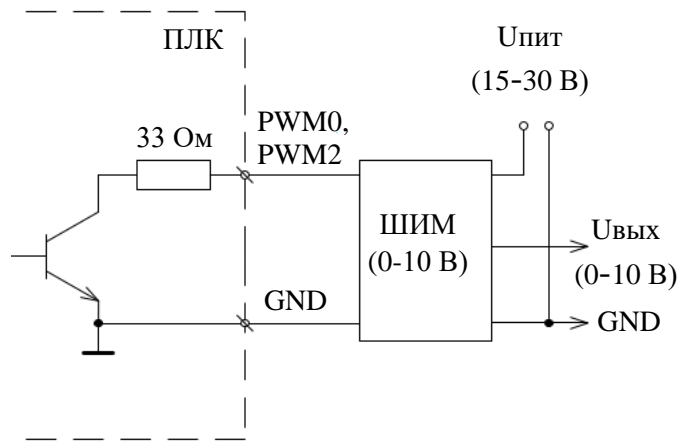
а) НСХ Pt 1000; б) с сигналом напряжения 0 – 10 В

в) с токовым сигналом 0 – 5 мА; г) с токовым сигналом 5 – 20 мА

Дискретные выходы служат для управления подключенными устройствами, а также для формирования ШИМ сигнала коммутации высокого и низкого сигнала, схема подключения показана на рис. 7.



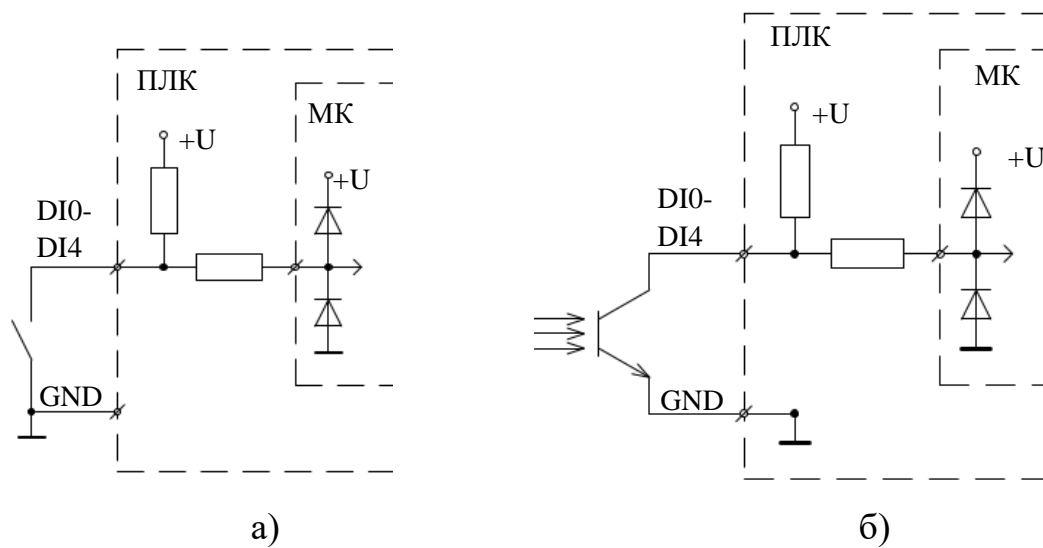




б)

Рисунок 7 – Подключение внешних устройств к выходам PWM (см. рис. 4, J6)  
 а) транзисторный открытый коллектор; б) ШИМ.

Дискретные входы служат для получения сигналов с дискретных датчиков. Величина напряжения этих датчиков составляет 24 В, что на программном уровне соответствует логическое единице и используется для подключения двух типов датчиков, как показано на рис. 8. [6].



а)

б)

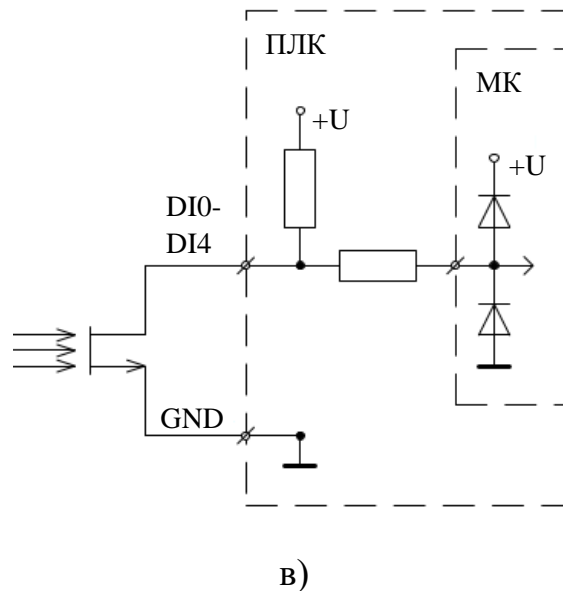


Рисунок 8 – Подключение датчиков (см. рис. 4, J6)

- а) «сухой контакт» (реле, контакты и тд); б) «открытый коллектор»;  
 в) «открытый сток» (счетчики)

Под интерфейсом связи принято понимать связь между контроллерами или связь контроллеров с различным оборудованием и верхним уровнем распределительной системы. Такая связь подразделяется на три группы – интерфейс последовательной передачи данных, Ethernet и различные виды модемов [7].

Разработанная плата обладает следующими видами обмена данных:

1) RS-232 – один из самых распространенных интерфейсов последовательной передачи данных. Для связи используются три провода: RX – прием данных, TX – передача данных и GND – земля, схема подключения показана на рис. 9. Передача данных осуществляется следующим образом, Master (главное устройство) посылает запрос, Slave (подчиненное устройство) отвечает. Данный интерфейс не помехоустойчив, как следствие расстояние до 20 м, а скорость передачи до 115200 бод, но популярен в автоматизации благодаря простоте и надежности [8].

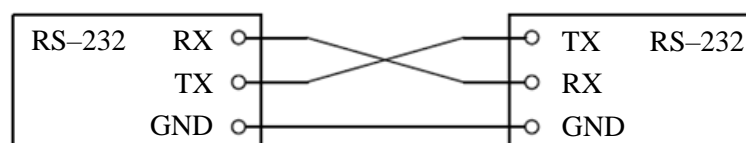


Рисунок 9 – Подключение RS-232

Так же есть возможность использовать преобразователь интерфейса (конвертор) USB–RS 232. Этот последовательный интерфейс со скоростью передачи до 921.6 Кбит/сек, обеспечивающий защиту от импульсных помех до 15 КВ.

2) UART – универсальный асинхронный приемник/передатчик интерфейса последовательной передачи данных, выступает в роли посредника между последовательным и параллельным интерфейсом. Данные интерфейсы существуют в виде отдельных микросхем, но чаще они встроены в микроконтроллеры:

- Wi – Fi модуль ESP – 01S. Для связи используются шесть проводов: RX – прием данных, TX – передача данных, GND – земля, VCC – питание 3,3 В, GPIO0 и GPIO2 – цифровые вход–выход, поддерживают ШИМ, CH\_PD – вкл/откл. питания (выводятся на 3,3 В напрямую или через резистор) и RST – сброс (подтягивается к 3,3 В) схема подключения показана на рис. 10 [9].

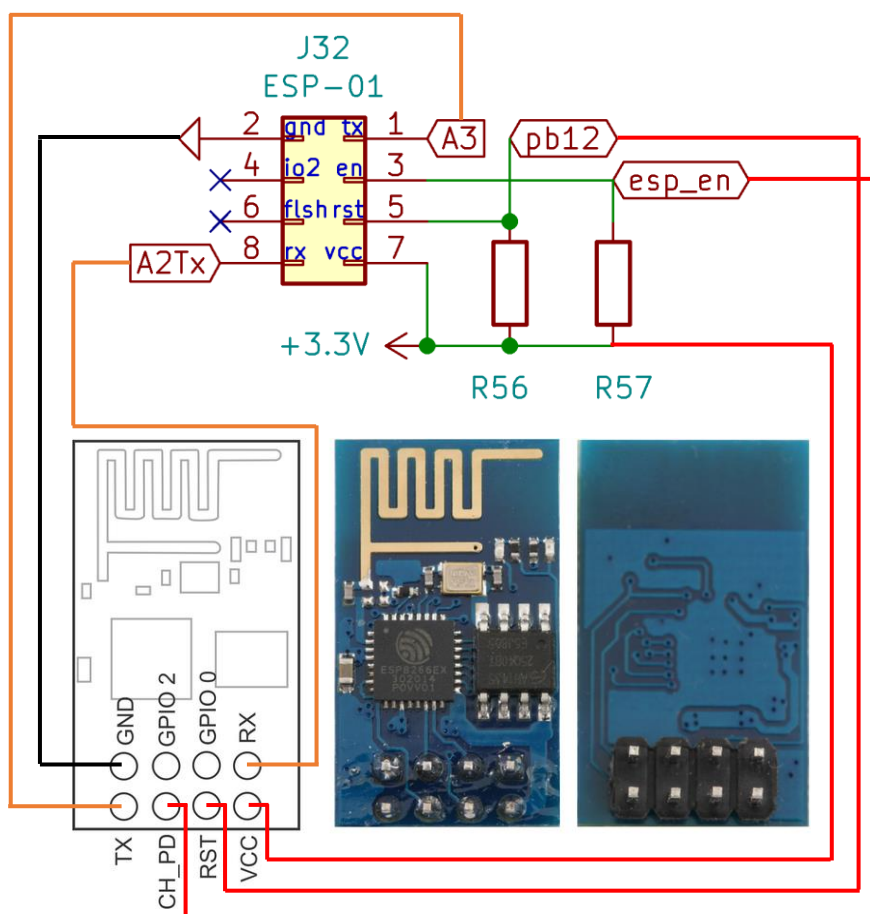


Рисунок 10 – Подключение Wi – Fi модуля ESP – 01 (см. рис. 4, J31)

- Bluetooth модуль HC – 06. Для связи используются четыре провода: RX – прием данных, TX – передача данных, GND – земля и VCC – питание от 3,3 до 6 В, схема подключения показана на рис. 11 [10].

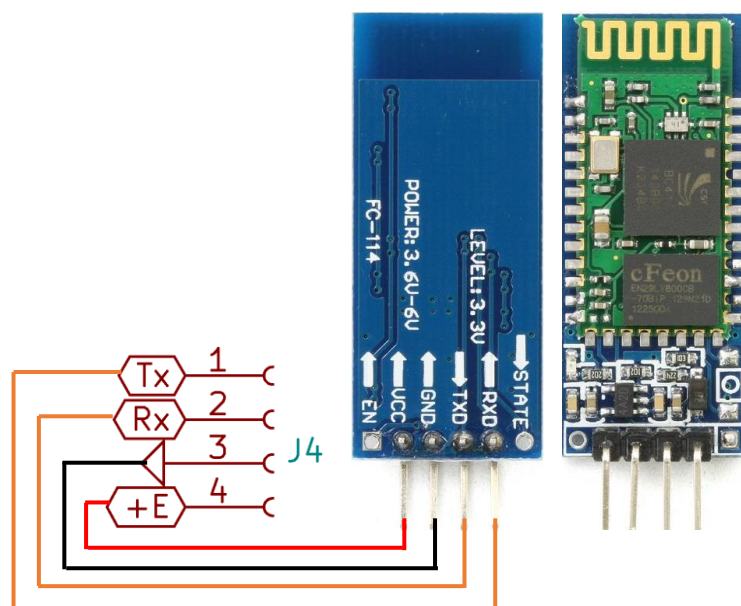


Рисунок 11 – Подключение Bluetooth модуля HC – 06 (см. рис. 4, J4)

Так же имеется возможность подключить GSM – модуль.

### 1.3 Согласование CoDeSys с разработанной платой

Таким образом имеется возможность реализовать систему обучения на стендовом оборудовании при помощи CoDeSys, где виртуальная машина эмулирует микропроцессор, а роль адаптера переходная плата, к которой подключается исполнительное и измерительное оборудование.

Поскольку работаем с виртуальной необходимо объявить глобальные переменные в Modbus протоколе, который в свою очередь обеспечивает сбор, обмен, отдачу бит информации, часть кода приведена ниже, рис. 12.

```

01 VAR_GLOBAL
02   gDo: ARRAY [0..7] OF BOOL := TRUE,FALSE,TRUE,FALSE,TRUE,FALSE,TRUE,FALSE;
03   g_Ao: ARRAY [0..3] OF UINT := 20,40,60,80;
04   gAi: ARRAY [0..7] OF UINT;
05   gBi: ARRAY [0..7] OF BOOL;
06 END_VAR

```

Рисунок 12 – Объявление переменных

Переменные отвечают за следующее: qAi[i] – аналоговые входа; qAo – аналоговые выхода; qVi[i] – дискретные входа.

После объявления переменных необходимо обеспечить связь с CoDeSys для этого введем следующий код, который показан на рис. 13:

```

0001 PROGRAM west
0002 VAR
0003     handle: DWORD :=INVALID_HANDLE ;
0004     brslt: BOOL;
0005     CmSetings: COMSETTINGS;
0006     trArr: ARRAY [0..31] OF BYTE;
0007     rcArr: ARRAY [0..31] OF BYTE;
0008     trlen: DWORD;
0009     rclen: DWORD;
0010     scrc16: WORD;
0011     i: BYTE;
0012     pwm: WORD;
0013 END_VAR
0001 IF handle = INVALID_HANDLE THEN
0002     CmSetings.Port :=COM4;
0003     CmSetings.dwBaudRate :=9600;
0004     CmSetings.byStopBits :=1;
0005     CmSetings.byParity :=0;
0006     CmSetings.dwTimeout :=0;
0007     CmSetings.dwScan :=0;
0008     handle :=SysComOpen(4);
0009     IF handle <> INVALID_HANDLE THEN
0010         brslt :=SysComSetSettings(handle, ADR(CmSetings));
0011     END_IF
0012 ELSE
0013     trArr[0] := 1;
0014     trArr[1] := 65;
0015     trArr[6] := 0;
0016     FOR i:=0 TO 3 DO
0017         IF gDo[i] THEN
0018             trArr[6] := trArr[6] OR SHL(BYTE#1,i);
0019         END_IF
0020     END_FOR
0021     FOR i:=0 TO 3 DO
0022         pwm := gAo[i];
0023         IF pwm > 255 THEN
0024             pwm :=255;
0025         END_IF
0026         trArr[i+2] := WORD_TO_BYTE(pwm);
0027     END_FOR
0028     scrc16 := Crc16(ADR(trArr), 7);
0029     trArr[11] := WORD_TO_BYTE (scrc16 AND 255); (* 65 *)
0030     trArr[12] := WORD_TO_BYTE (SHR(scrc16,8) AND 255); (* 246 *)
0031     trlen := SysComWrite(handle, ADR(trArr), 9, 200);
0032     rclen := SysComRead(handle, ADR(rcArr), 22, 2000);
0033     IF rclen = 21 THEN
0034         FOR i:=0 TO 7 DO
0035             gAi[i] := ( rcArr[2+2*i] + 256 * rcArr[3+2*i] );
0036         END_FOR
0037         FOR i:=0 TO 3 DO
0038             gDi[i]:= (rcArr[18] AND (SHL(BYTE#1,i) )) <> 0;
0039         END_FOR
0040     END_IF
0041 END_IF

```

Рисунок 13 – Код связи CoDeSys с исполнительными и измерительными устройствами

С целью проверки работоспособности системы управления стендом создадим стартовый шаблон в виде мнемосхемы, как показано на рис. 14.

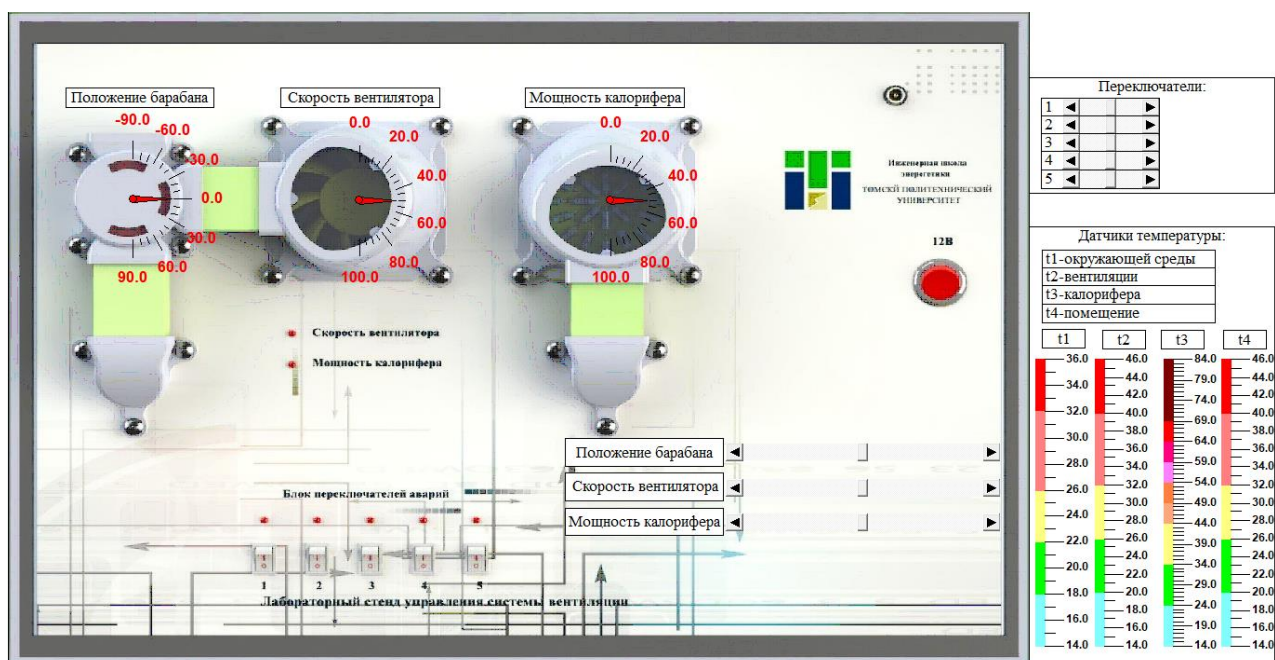


Рисунок 14 – Контрольная панель управления оператора

Диаграмма SFC (мнемосхема) визуально представляет интуитивно понятный алгоритм для оператора, буквально «оживающий» в онлайн-режиме, который позволяет управлять связью основного оборудования и сигнальных устройств на контролируемом объекте. Действия шагов SFC описываются на привычном высокоуровневом языке ST [11].

Рассматриваемая структура позволяет реализовывать и снимать необходимые переходные процессы и проводить их исследования. В качестве примера рассмотрим переходный процесс (трассировку) в системе (рис. 15), который носит аperiodический характер. Трассировка – это удобный инструмент, который есть во всех CoDeSys контроллерах, позволяющий снимать переходные процессы в автономном режиме с объектов.

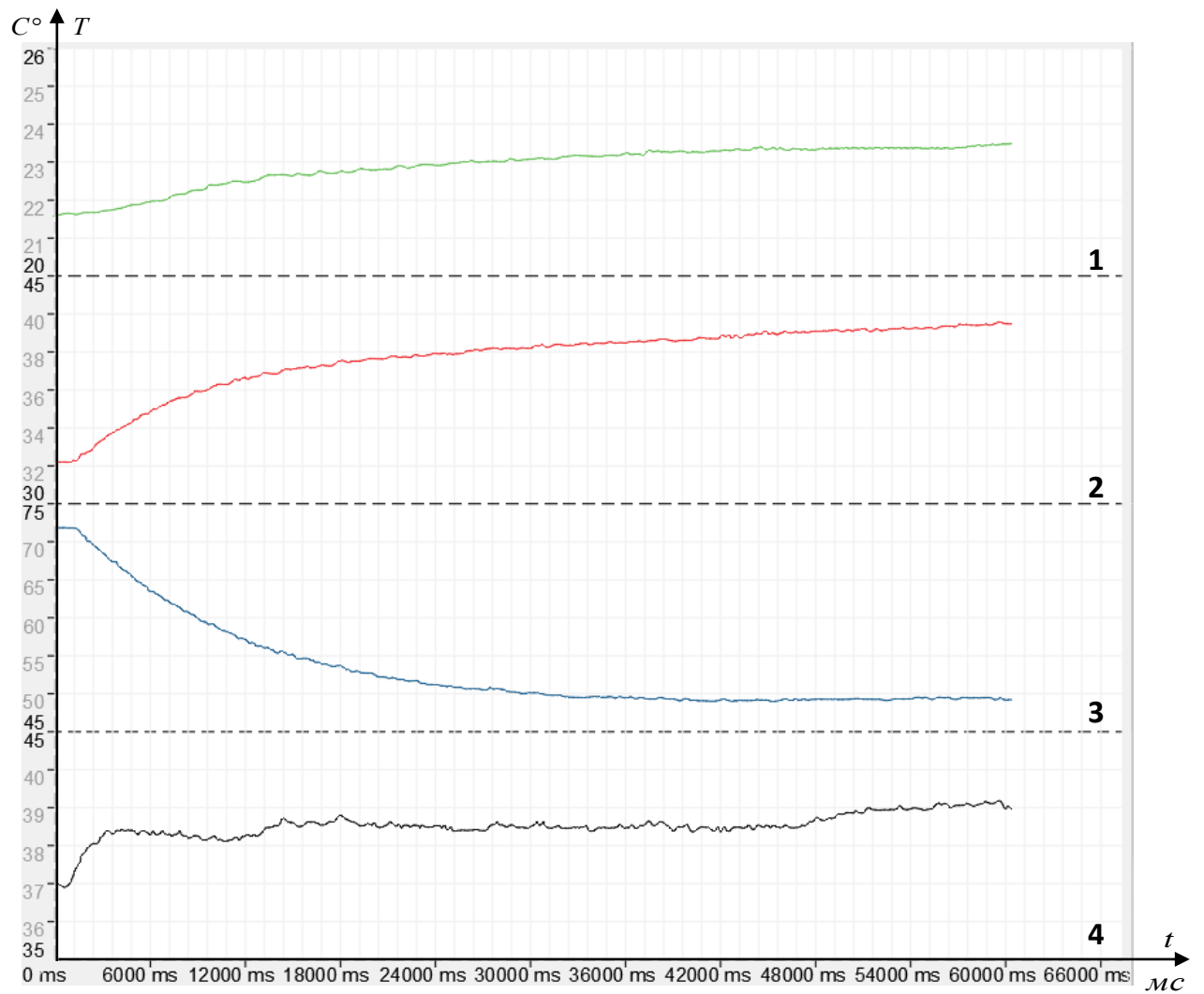


Рисунок 15 – Переходный процесс температур:

1 – окружающей среды; 2 – вентиляции; 3 – калорифера; 4 – помещения

Для того чтобы описать динамику реального объекта необходимо подключить к управляющему сигналу инерционное звено тем самым создав инерционность оборудования.

## 2 ОПИСАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОНТРОЛЛЕРА НПО ВЭСТ И CODESYS

Автоматический контроллер ВЭСТ–03 программируется только на web платформе Akiar, поскольку имеет микропроцессор STM32F103C8T6 (малая вычислительная мощность), которой недостаточно для требовательной среды CoDeSys.

CoDeSys – это современный инструмент для программирования контроллеров, который имеет все необходимые элементы. На сегодняшний день данная программа является лидером среди МЭК комплексов и с его помощью программируются свыше полумиллиона контроллеров ежегодно. Данная программа позволяет работать с 5 языками программирования: IL, ST, FBD, SFC и LD.

Язык FBD (диаграммы функциональных блоков) – графический язык программирования стандарта МЭК 61131–3, созданный для описания процессов прохождения сигналов и обеспечения управления потоками всех типов. Использует команды, как и язык LD (релейно – контактные схемы или релейные диаграммы), но схема визуально более понятна разработчику, который плохо владеет знаниями релейной логики [11, 12].

Язык SFC (схема непрерывных функций) – это модификация языка FBD, позволяющая установить порядок выполнения диаграмм не просто последовательной цепочкой, а по усмотрению разработчика ПО. Используя SFC разработчик получает больше свободы, хотя код получается более длинным.

В работе будем использовать SFC и ST языки. На SFC языке визуально более понятен, особенно это важно на этапе наладки программы, а ST удобен своей гибкостью.

### 2.1 Описание языка Akiar и сценария вентиляции

Рассмотрим мнемосхему автоматизации системы вентиляции на контроллере ВЭСТ–03. Мнемосхема создана с помощью FBD блоков.

Алгоритм работы некоторого устройства, построенного на языке FBD, занимает символика булевой алгебры («И», «ИЛИ», «НЕ», таймер, триггер,



счетчик, математические операции и тд). Благодаря этому обладает следующими достоинствами: простота на начальном этапе изучения; четкая последовательность кода, надежность, наглядность.


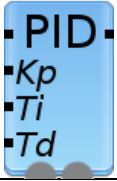
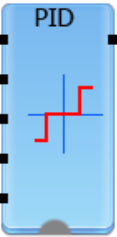
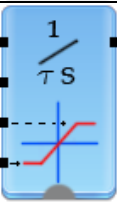




На данный момент полная библиотека Акиаг состоит из 5 разделов (булевых и математических функций, периферии контроллера динамических блоков и релейных элементов) и включает в себя 35 элементов.

Рассмотрим пример системы автоматизации вентиляции, построенной с помощью FBD блоков показанной на рис. 16. Сведем используемые элементы в табл. 2 [14].

Таблица 2 – Библиотека функциональных блоков АКИАР

Обозначение	Функция
<b>Математические функции</b>	
	Выполняет операцию вычитания $R=A-B$
	Выполняет операцию умножения и деления $R=A \times (B/C)$
<b>Булевые функции</b>	
	Операция сравнения по закону $R= A$ больше $B$
	Операция сравнения по закону $R= A$ меньше $B$
	Операция сравнения по закону $R= A$ равно $B$
	Логическая операция по закону $R=A$ и $B$ . Конъюнкция «И»
	Логическая операция по закону $R=A$ или $B$ . Дизъюнкция «ИЛИ»
	Логическая операция по закону $R=$ не $A$ . Инверсия «НЕ»

Окончание таблицы 2

Релейные элементы	
	Выбирает аналоговые значения по закону $R=C?A:V$
Динамические блоки	
	ПИД регулятор с лямбда звеном вместо дифференциального. Порядок параметров: Err, Kp, Ti, Td, Li, Ll, Out.
	Релейный регулятор с входами: ошибка, время объекта, время воздействия, зона нуля, зона гистерезиса. Выход [-1. 0, 0, 1. 0]
	Интегрирующее звено с заданной постоянной времени и ограничениями.
	Апериодическое звено с заданной постоянной времени.
Периферия контроллера	
	Дисплей
	Получает параметр из системы индикации или тарифованный регистр входа
	Получает значение аналогового периферийного входа с заданным номером
	Устанавливает цифровой периферийный выход с заданным номером
	Устанавливает аналоговый периферийный выход с заданным номером

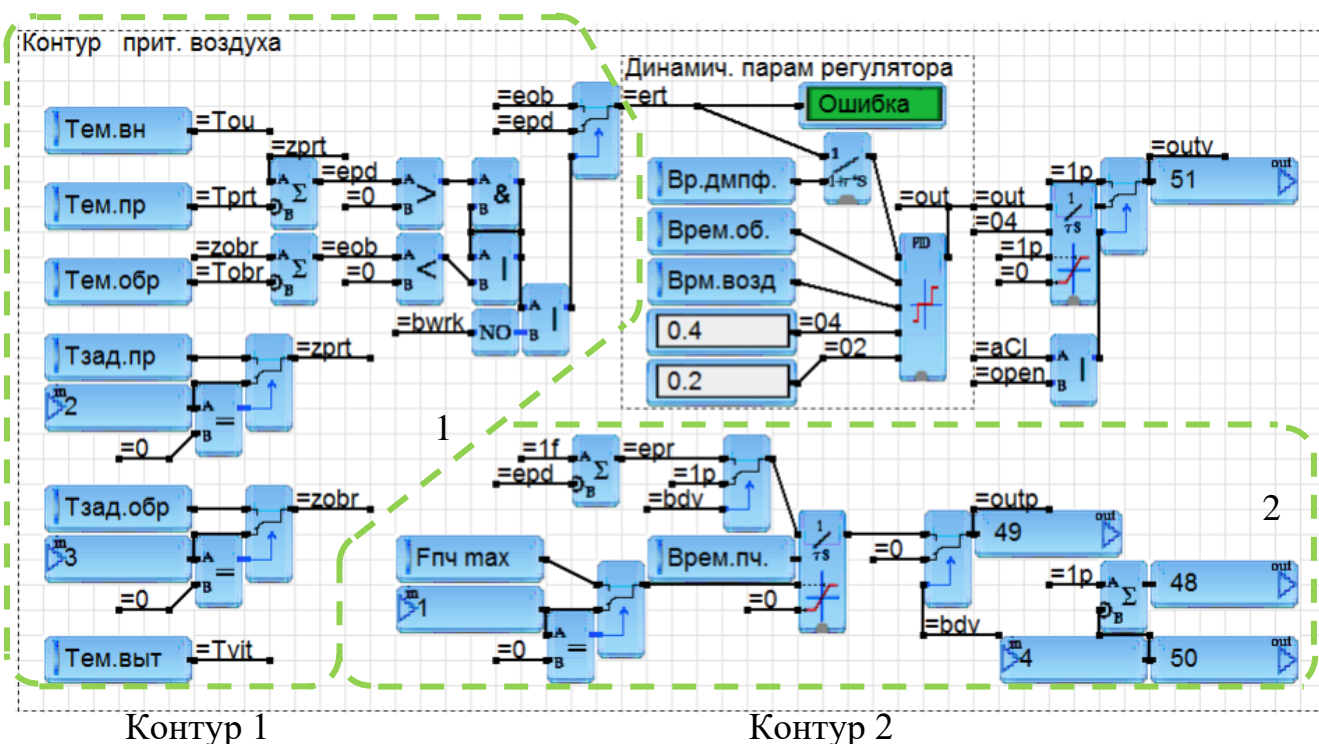


Рисунок 16 – FBD часть сценария системы вентиляции  
(объект г. Томск, микрорайон Северный, ул. Анны Ахматовой)

В функцию регулятора входит выполнение следующих функций: распределение заданий на электроприводы; решение задачи интерполяции во времени, управление контуром технологического параметра, передача информации о результатах в ПК.

Среда Аkiar позволяет создать блок PWM (широтно – импульсной модуляции), который будет таймером процессора регулятора и обеспечивать необходимые параметры (частоты и амплитуды) сигнала скалярного управления  $U/f=Const$ . Получая данные с датчиков температуры регулятор принимает решение формирования значения управляющего напряжения на вентиляторе, т.е. управляет потоком воздуха.

Одним из экономичных и доступных устройств для северных регионов является водяной калорифер. В нашем же случае на объекте водяной калорифер связан с отопительной системой, но для запуска и работы системы необходимо соблюдать ряд условий, прописываемые в сценарии Аkiar. Неверный алгоритм приведет к разрушению элементов калорифера: первый и самый очевидный – прямой разрыв трубок, коллекторов или коллекторных крышек льдом при замерзании воды; второй способ менее очевидный – это разрушение элементов

калорифера давлением воды, вытесняемой льдом из уже замерзших участков калорифера.

На рис. 16 (контур 1) представлено управление трехпозиционным клапаном, реализуется с помощью ШИМ, но по независимым друг от друга законам ПИД регулирования. Для формирования управляющих сигналов задается параметр «Температура, заданная приточного воздуха (Т.зад.пр.)». С помощью датчиков температуры измеряется температура обратного теплоносителя и приточного воздуха. В этом режиме обеспечивается управление положением клапана для поддержания приточного воздуха, при этом не допускается допускать высокую температуру обратного теплоносителя, а значит, при хороших погодных условиях постепенно увеличивается подача объема воздуха, но до определенного заданного значения.

На рис. 16 (контур 2) представлено управление скорости вентилятора. В случаях, когда заданная температура приточного воздуха не поддерживается, то выполняется условие регулирования скорости вентилятора, т.е. медленное уменьшение подачи объема воздуха. Система проходит этап стабилизации показателей регулирования, это выдерживание температуры обратного теплоносителя и уменьшение потока воздуха для обеспечения температуры приточного воздуха. Для ограничения максимальной скорости задается параметр, кроме того, задается постоянная времени изменения скорости оборотов вращения вентилятора. Целью этого является, поддержание температуры приточного воздуха на 1°С ниже заданной.

## **2.2 Подготовка функциональных блоков в CoDeSys**

Несмотря на то что CoDeSys имеет почти неограниченный функционал для создания автоматики различного принципа и метода работы, несколько языков программирования, является лидером среди МЭК комплексов и с его помощью программируются свыше полумиллиона контроллеров ежегодно ориентироваться на начальном этапе довольно затруднительно в связи такого обширного функционала [11, 12, 13].

Рассмотрим два варианта, когда необходимый функциональный блок:

- 1 – имеется в программе, но его затруднительно найти;
- 2 – его нет в программе и надо создавать самим.

1) Создаем новый проект, для этого в меню File даем команду New. В появившемся диалоге выбора целевой платформы (тип ПЛК) Target Settings выбираем None. Это означает, что мы будем пока работать со встроенным эмулятором CoDeSys. Нажимаем кнопку ОК. В следующем диалоге свойств нового программного компонента МЭК задаем тип ROU: Программа, имя нового компонента PID\_reg. В качестве языка программирования нового компонента выбираем FBD (рис. 17) и нажимаем ОК.

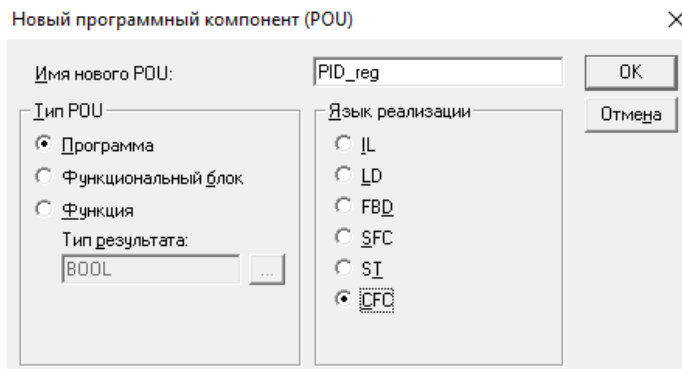


Рисунок 17 – Диалог выбора целевой платформы

Для этого подключим библиотеку Util, сделать это можно либо со вкладки «Ресурсы» или в главном меню «Окно» также есть «Менеджер библиотек», как это показано на рис. 18.

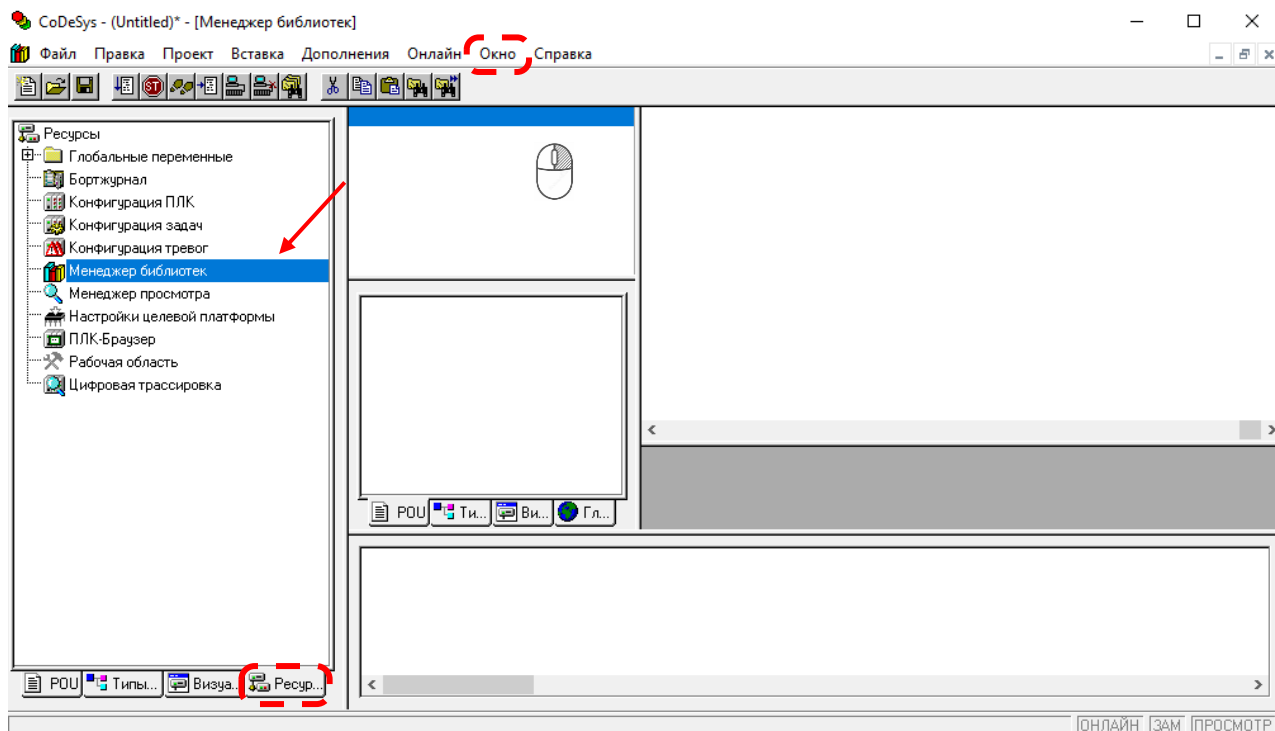


Рисунок 18 – Нахождение «Менеджер библиотек»

Для того чтобы добавить библиотеку в левом верхнем (см. рис. 18) углу нажимаем правую клавишу мыши, выбираем «Добавить библиотеку» и в CoDeSys папке по умолчанию находим библиотеку Util и открываем. Здесь в папке controller выбираем PID (FB), как показано на рис. 19.

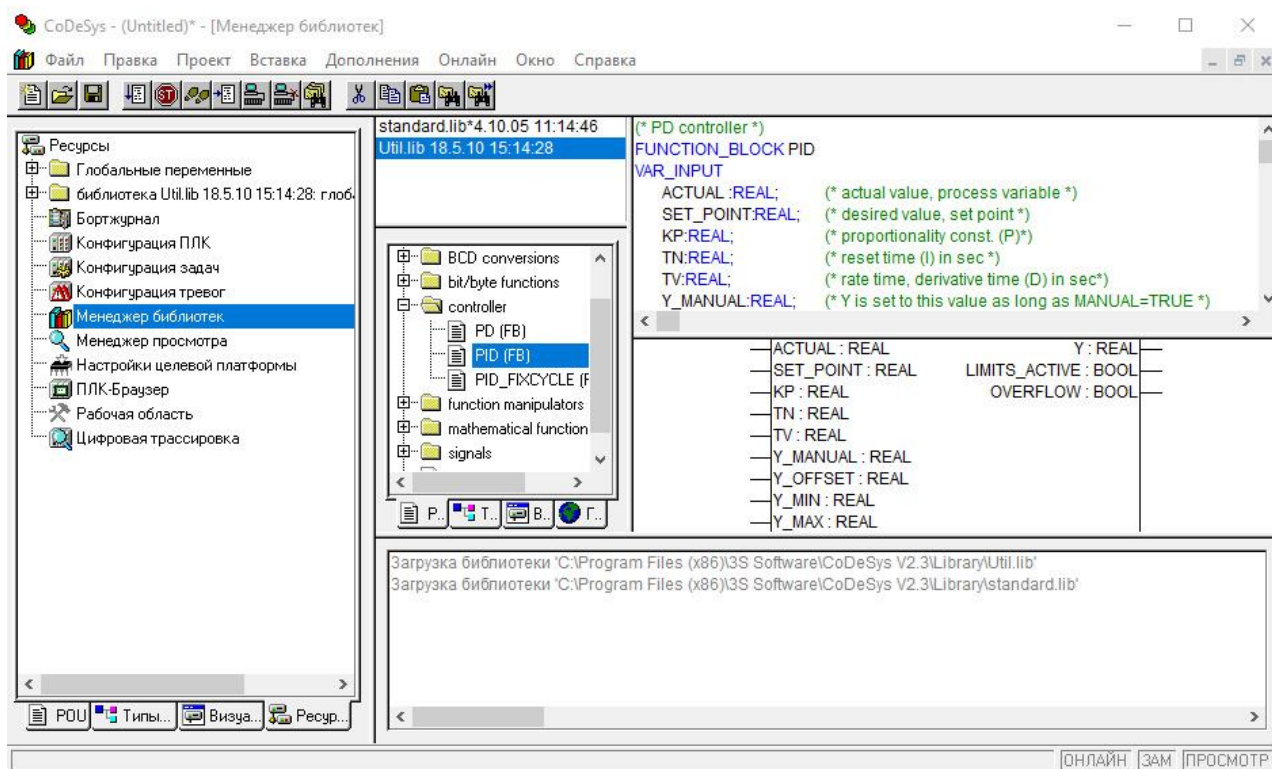


Рисунок 19 – PID регулятор

Рассмотрим, что из себя он представляет, для этого выйдем в окно главной программы, добавим элемент на рабочую область и в его заголовке пропишем название нужного блока PID, как показано на рис. 20.

PID регулятор это в первую очередь математический алгоритм, главная задача которого, имея текущие измеренные значения (температура, давление, расход и тд.) и имея некое желаемое значение так называемую уставку с помощью подключенного исполнительного механизма, приводить текущее измеренное значение к задаваемой уставке т.е. поддерживать некий технический параметр на заданном уровне. В автоматике PID регулятор не является «волшебной таблеткой» универсальным способом, который добавил и все стало прекрасно работать. Это математический алгоритм, который имеет определенные параметры и для того чтобы система была хотя бы работоспособной и уж тем более работала хорошо и эффективно этот регулятор надо настраивать.

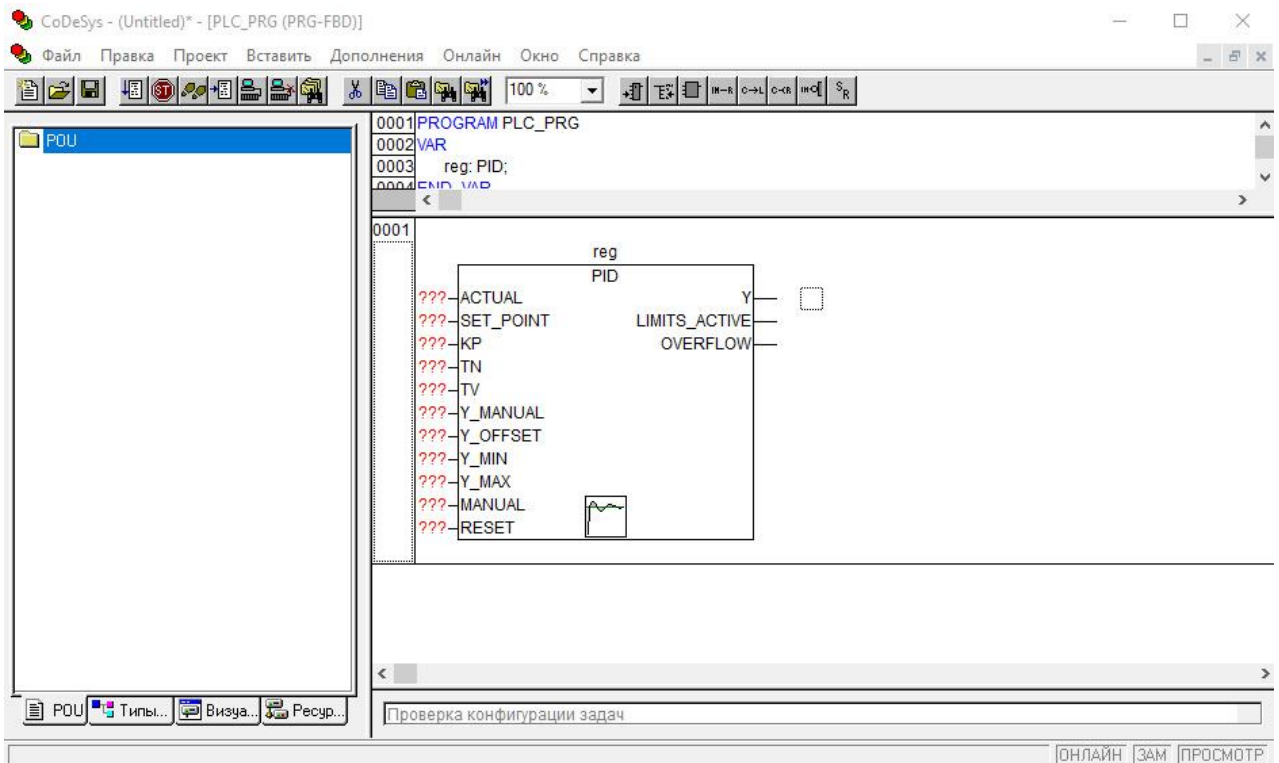


Рисунок 20 – PID регулятор в рабочей области

Разберемся за что тут отвечают входы и выходы:

- ACTUAL – измеренные значения, булевые или вещественные;
- SET\_POINT – уставка, значение которое хотелось бы иметь;
- KP – коэффициент пропорциональности, т.е. чем больше разница между измеренной температурой и заданной уставкой, тем больше сигнал будет выдавать регулятор на выход (степень открытия клапана);
- TV – дифференциальный коэффициент, оценивает скорость т.е. если у нас сейчас разница между температурой и уставкой, условно 10 C°, а в следующем измерении через 5 сек. разница 8 C°, то регулятор оценивает скорость изменения рассогласования разницы и соответственно, чем больше скорость, в зависимости от скорости рассогласование тем быстрее в алгоритм регулятора вносится поправка. Эта поправка вводится для того чтобы температура разогнавшись не перескочила через уставку и у нас не начались колебательные процессы. Система за счет дифференциальной составляющей, за счет учета скорости стремится сразу же появившуюся разницу рассогласования уменьшить;



- TN – интегрирующий коэффициент, можно назвать накопителем, пока у нас есть разница между температурой и уставкой в этот самый накопитель постоянно добавляются небольшие доли и это позволяет приводить температуру к уставке быстрее и точнее;
- Y\_MANUAL – работа регулятора в ручном режиме, т.е. задаваемое значение на входе передает его на выход в ручном режиме;
- Y\_OGGSET – значение на выходе регулятора, когда мы его сбрасываем;
- Y\_MIN, Y\_MAX – масштабирование выходного сигнала;
- MANUAL – включение ручного режима;
- RESET – сброс регулятора;
- Y – выход, переменная типа REAL (32 – разрядное значение с плавающей точкой) изменяется в заданных пределах Y\_MIN и Y\_MAX;
- LIMITS\_ACTIVE – сигнализатор.

2) Для создания нового элемента (инерционное звено) в уже открытом проекте нажимаем правую клавишу мыши, выбираем «Добавить объект» (рис. 21).

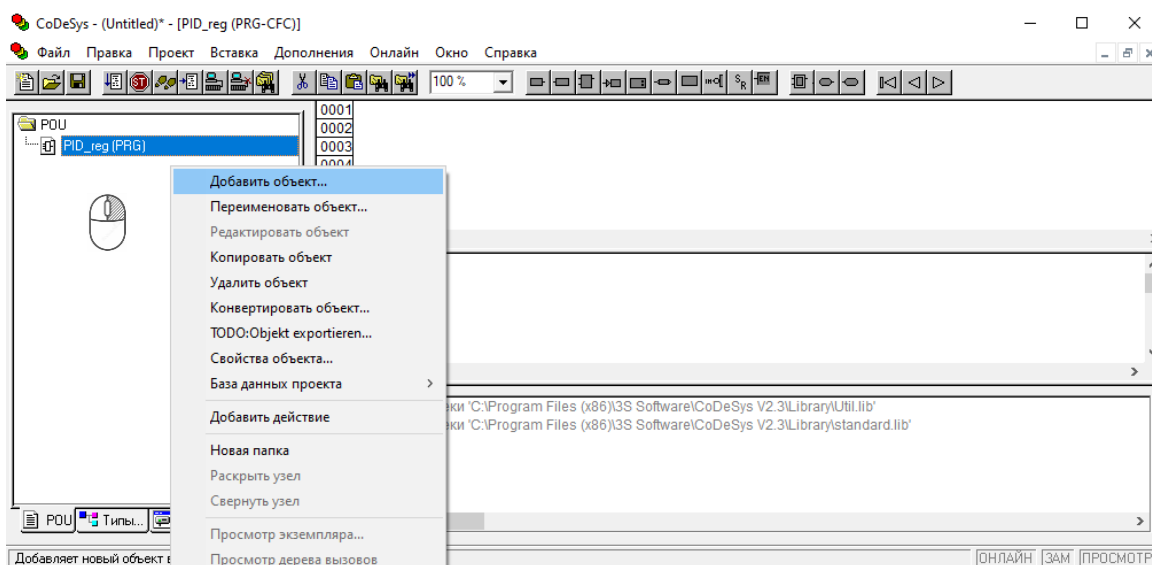


Рисунок – 21 Добавление объекта

В следующем диалоге свойств нового программного компонента МЭЗ задаем тип POU: Программа, имя нового компонента IntiL. В качестве языка программирования нового компонента выбираем ST (рис. 22) и нажимаем ОК.



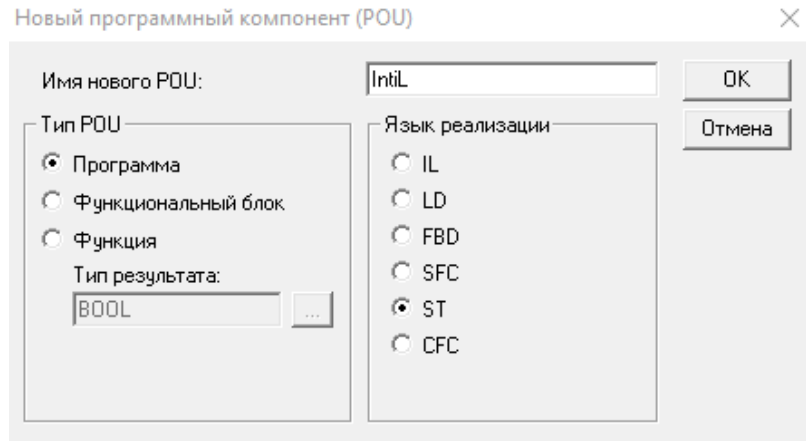


Рисунок 22 – Диалог выбора целевой платформы

В открывшемся окне объявим входные ( $X, K, T$ ), выходные ( $Y$ ) и предыдущие ( $Y1$ ) переменные, глобальная переменная ( $ddt$ ). После чего производится расчет по заданной функции:

$$Y := \frac{(X \cdot K - Y1) \cdot ddt}{T};$$

$$Y1 := Y$$

После чего появляется созданный нами блок, как это показано на рис. 23.

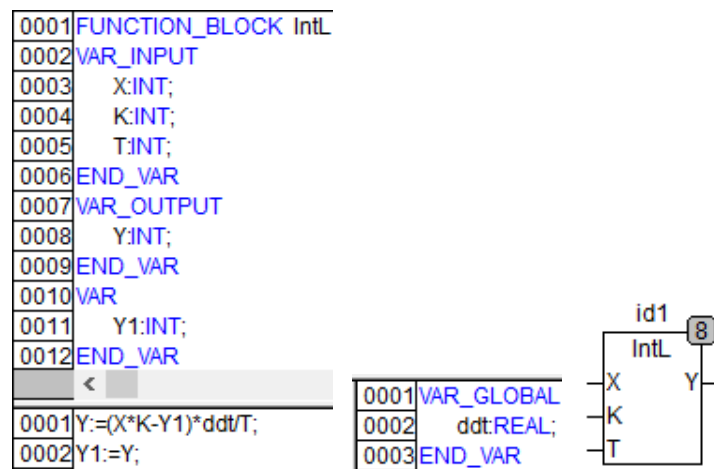


Рисунок 23 – Код работы функционального блока

Дальнейший поиск, создание и перевод всех блоков незатруднителен, но громоздкий поэтому освещен не будет.

Созданная библиотека соответствует блокам языка Akiar, архив блоков показан на рис. 24.

## 2.3 Перевод сценария вентиляции из Akiar на CoDeSys

Разработанная плата (см. рис. 3, 4) как прототип контроллера ВЭСТ–03 также имеет простой и понятный интерфейс, аналогичную схему программирования на языке FBD, как и CoDeSys т.е. имеется возможность перевести проект из Akiar в CoDeSys. Для этого необходимо создать собственную библиотеку функциональных блоков, с помощью которой будет возможность конвертировать проекты из одной программной среды в другую. Подробное описание сценария (см. раздел. 2.1) и функциональных блоков (см. раздел. 2.2).

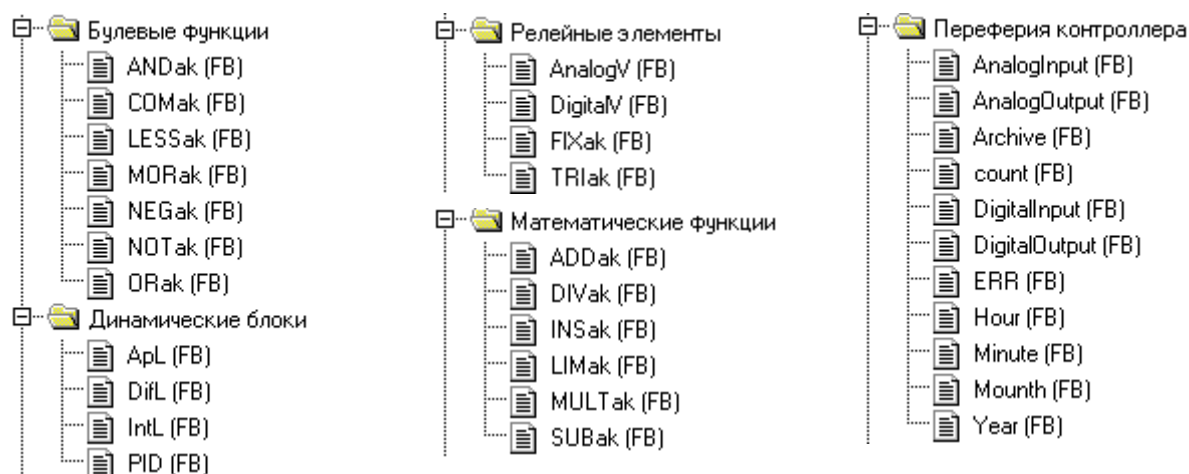


Рисунок 24 – Библиотека элементов для конвертации проектов (сценариев)

Также собственная библиотека позволяет использовать собственные блоки в различных версиях программы, поскольку в каждой версии программы (CoDeSys 2.3, CoDeSys 3.4 и тд) библиотеки имеют различное названия и директории, что не позволит использовать существующий проект.

Для удобной конвертации проекта созданные элементы были разнесены по соответствующим папкам также, как и в Akiar, связи между элементами будут создаваться вручную.

Для удобства разнесения элементов создадим рабочее поле с помощью SFC языка. Процесс проектирования заключается в использовании подготовленных блоков и размещения их на экране. Далее происходит их настройка и размещения соединений между ними.

Каждый блок – это управление определенным технологическим процессом. Здесь идет основной уклон на технологический процесс, математика уходит на второй план.

В итоге получим автоматику на CFC блоках в среде CoDeSys, как показано на рис. 25.

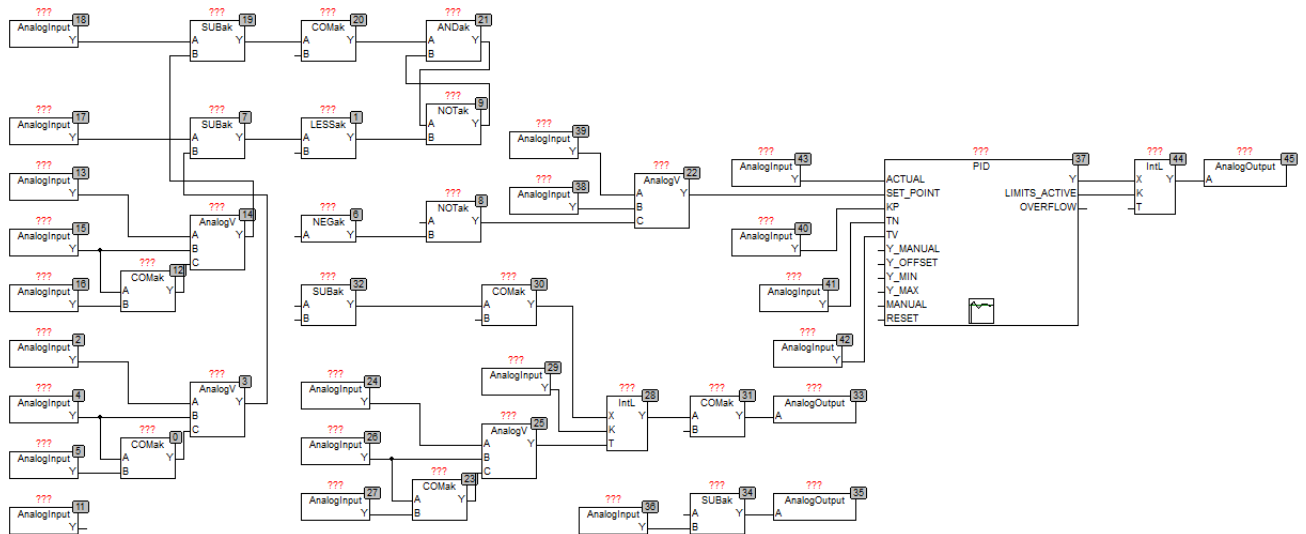


Рисунок 25 – Импорт проекта АКІАР в CoDeSys с помощью FBD блоков

### 3 НАСТРОЙКА ТИПОВЫХ КОНТУРОВ

На рис. 26 показана функциональная схема разработанного стенда. Из которой видно, что чем больше количество оборотов вентилятора, тем больше он создает поток свежего воздуха в системе вентиляции и обдувает калорифер, тем самым снижая температуру подаваемого воздуха в помещение, т.е. зависимость обратная и коэффициент передачи отрицательный.

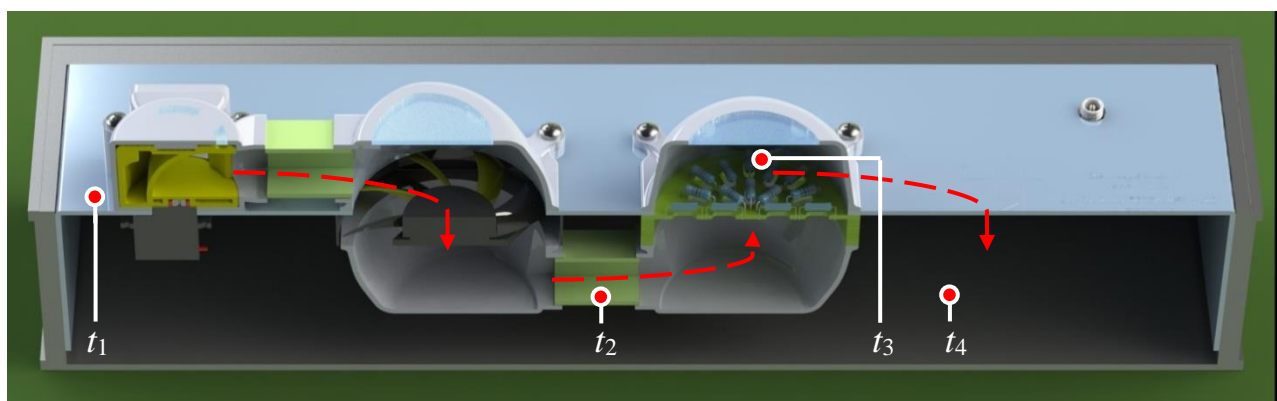


Рисунок 26 – Функциональная схема разработанного стенда (лабораторный стенд в разрезе), где датчики температуры:

$t_1$  – окружающей среды;  $t_2$  – вентиляции;  $t_3$  – калорифера;  $t_4$  – помещения

Уменьшаем поток температура растет, увеличиваем поток температура падает, следовательно  $k < 0$ . На основании этого принципа строится блок схема ПИД – регулятора процесса подачи воздуха в помещение (рис. 27). Все системы управления строятся с отрицательной обратной связью, но обычно отрицательная обратная связь обеспечивается нижним контуром и вводится в сумматор снизу, но поскольку коэффициент передачи отрицательный, то отрицательная обратная связь обеспечивается верхним контуром и вводится в сумматор сверху.

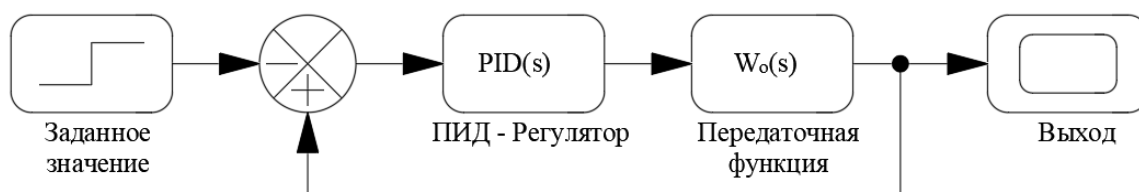


Рисунок 27 – Подогрев подаваемого воздуха в помещении

Определим динамические характеристики объекта модальным методом по переходной характеристике (рис. 28). Точка перегиба соответствует переходу кривой от режима ускорения к режиму замедления темпа нарастания выходного сигнала.

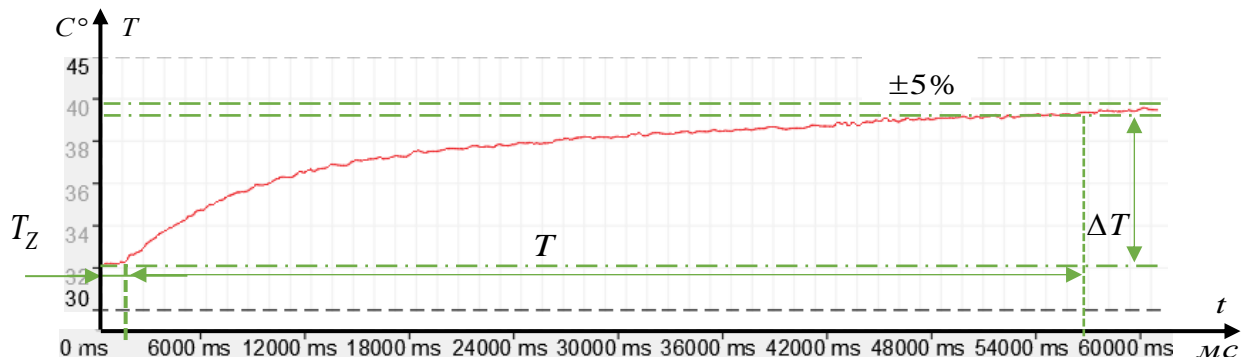


Рисунок 28 – Переходная характеристика температуры в контуре вентиляции

где  $k$  – динамический коэффициент усиления, который определяет во сколько раз звено усиливает входной сигнал (в установившемся режиме), определяется как :  $k = \frac{\Delta T}{-\Delta U}$  ;

$\Delta T$  – изменение установившегося значения после воздействия выходной величины;

$T_z$  – время запаздывания, промежуток времени от момента изменения входной величины до начала изменения выходной величины  $\Delta T$  , причем чем больше время запаздывания, тем сложнее регулировать процесс. Можно аппроксимировать двумя постоянными времени  $T_2$  и  $T_3$  при этом  $T_2 = T_3 = \frac{T_z}{2}$  ;

$T_1$  – постоянная времени объекта  $T_1 = \frac{T}{3}$  .

Передаточная функция объекта представлена в виде:

$$W_o(s) = \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)}$$

Передаточная функция ПИД регулятора может быть представлена в виде:

$$W_r(s) = \frac{k_r (1 + T_{r1} \cdot s) \cdot (1 + T_{r2} \cdot s)}{s(1 + T_f \cdot s)}$$

Для объектов 2–го и 3–го порядка без астатизма можно использовать оптимальную передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W_b(s) = \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s}.$$

Приведем передаточную функцию к виду:

$$W_b(s) = W_o(s) \cdot W_r(s) \Rightarrow \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} = \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)} \cdot \frac{k_r (1 + T_{r1} \cdot s) \cdot (1 + T_{r2} \cdot s)}{s(1 + T_f \cdot s)}.$$

На основании того что  $T_{r1} = T_2$ ,  $T_{r2} = T_3$  можно произвести сокращения,  $T_f$  выбираем намного меньше чем  $T_\mu$  как минимум в 10 раз, поэтому величиной  $T_f$  можно пренебречь.

В результате получаем следующее произведение:

$$\begin{aligned} \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)} \cdot \frac{k_r (1 + T_{r1} \cdot s) \cdot (1 + T_{r2} \cdot s)}{s(1 + T_f \cdot s)} \Rightarrow \\ \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)} \cdot \frac{k_r (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)}{s(1 + T_f \cdot s)} \Rightarrow \\ \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s)} \cdot \frac{k_r}{s}. \end{aligned}$$

Чтобы обеспечить коэффициент передачи регулятора необходимо вынести постоянную составляющую регулятора, т.е. чистый коэффициент передачи и приравнять, после чего определим  $k_r$ :

$$\begin{aligned} \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s)} \cdot \frac{k_r}{s}, \\ \frac{1}{q \cdot T_\mu} &= k \cdot k_r \rightarrow k_r = \frac{1}{q \cdot T_\mu \cdot k}. \end{aligned}$$

Из рисунка 28 можно получить  $T = T_\mu = 54000 \text{ мс} = 54 \text{ с}$ ,  $T_1 = 18000 \text{ мс} = 18 \text{ с}$ ,  $T_2 = T_3 = 1000 \text{ мс} = 1 \text{ с}$ ,  $k = 2$ .

Значение  $q$  определяется из заданного перерегулирования. Если принять,  $q = 2$  то перерегулирование будет близко к 0%. Уменьшение параметра приведет к увеличению перерегулирования до 45%. Переходные процессы оптимальных процессов для оптимальных параметров  $q$  показаны на рис. 29 [2, 15].

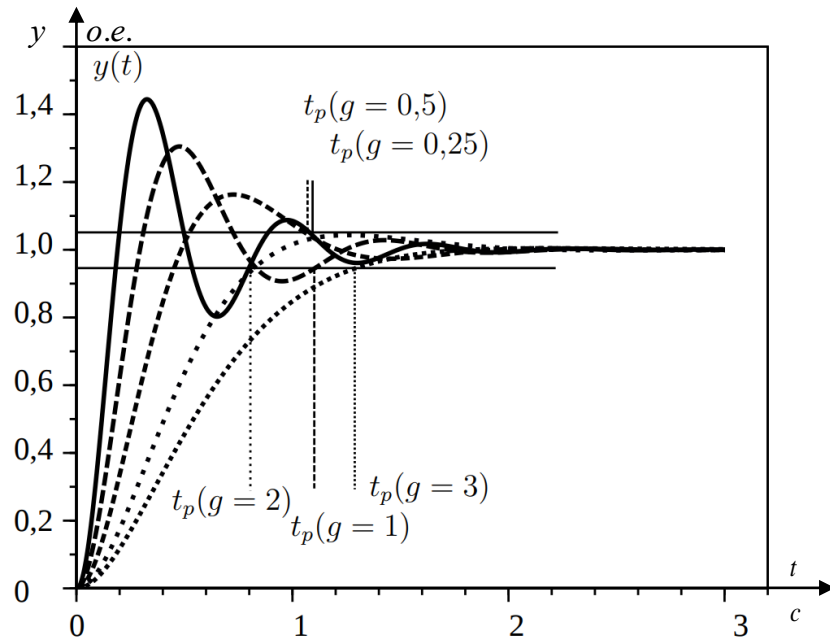


Рисунок 29 – Переходные процессы оптимальных процессов для различных  $g$

Определим коэффициенты ПИД – регулятора учитывая пренебрежение величиной  $T_f \ll T_\mu$ ,  $T_{r1} = T_2$ ,  $T_{r2} = T_3$  можно произвести сокращения,:

$$\begin{aligned}
 W_r(s) &= \frac{k_r(1 + T_{r1} \cdot s) \cdot (1 + T_{r2} \cdot s)}{s(1 + T_1 s)} \Rightarrow \\
 &= \frac{k_r [1 + T_{r2} \cdot s + T_{r1} \cdot s + T_{r1} \cdot T_{r2} \cdot s^2]}{s} \Rightarrow \\
 &= \frac{k_r [1 + (T_{r1} + T_{r2}) \cdot s + T_{r1} \cdot T_{r2} \cdot s^2]}{s} \Rightarrow \\
 &= \frac{k_r}{s} + (T_{r1} + T_{r2}) \cdot k_r + k_r \cdot T_{r1} \cdot T_{r2} \cdot s \Rightarrow \\
 &= (T_{r1} + T_{r2}) \cdot k_r \cdot \left[ \frac{\cancel{k_r}}{s \cdot (T_{r1} + T_{r2}) \cdot \cancel{k_r}} + 1 + \frac{\cancel{k_r} \cdot T_{r1} \cdot T_{r2} \cdot s}{(T_{r1} + T_{r2}) \cdot \cancel{k_r}} \right] \Rightarrow \\
 &= (T_2 + T_3) \cdot k_r \cdot \left[ \frac{1}{s \cdot (T_2 + T_3)} + 1 + \frac{T_2 \cdot T_3 \cdot s}{(T_2 + T_3)} \right].
 \end{aligned}$$

Таким образом получаем:

- коэффициент пропорциональности  $K_P = (T_2 + T_3) \cdot k_r$ ;
- постоянная интегрирования  $T_i = T_2 + T_3$ ;
- постоянная дифференцирования  $T_d = \frac{T_2 \cdot T_3}{(T_2 + T_3)}$ .

Создадим скрипт со следующим кодом (рис. 30), где объявлены все переменные и формулы.

```

1 T1 = 18;
2 T2 = 1;
3 T3 = 1;
4 Ko = 2;
5 g=2;
6 Kr = 1/(Ko*g*T1);
7 Kp = (T2+T3)*Kr;
8 Td = T2*T3/(T2+T3);
9 Ti = T2+T3;
10 Thend = 300;
11 s=poly(0, 's');
12 //Wb = syslin('c', -1/((1+T1*s)*g*T1*s));
13 Wo = syslin('c', -Ko/((1+T1*s)*(1+T2*s)*(1+T3*s)));
14 //Wr = syslin('c', -(Kr*(1+T2*s)*(1+T3*s))/((1+T1*0.1*s)*s));
15 Wr = syslin('c', -(Kp*(1+1/(Ti*s) + Td * s )/(1+Td*0.1*s)));
16 Wb = Wo*Wr;
17 Wc = Wb/(1+Wb);
18 Wc = Wc*10;
19 plot(csim("step", 0:1:Thend, Wc));

```

Рисунок 30 – Скрипт программы

Сравним на одном графике переходные процессы, полученные при помощи скрипта и с реального объекта, как показано на рис. 31.

Как видно из рис. 31 полученный переходный процесс достаточно точен, что говорит о достоверности метода. Колебания на реальном объекте обусловлены наводками и помехами.

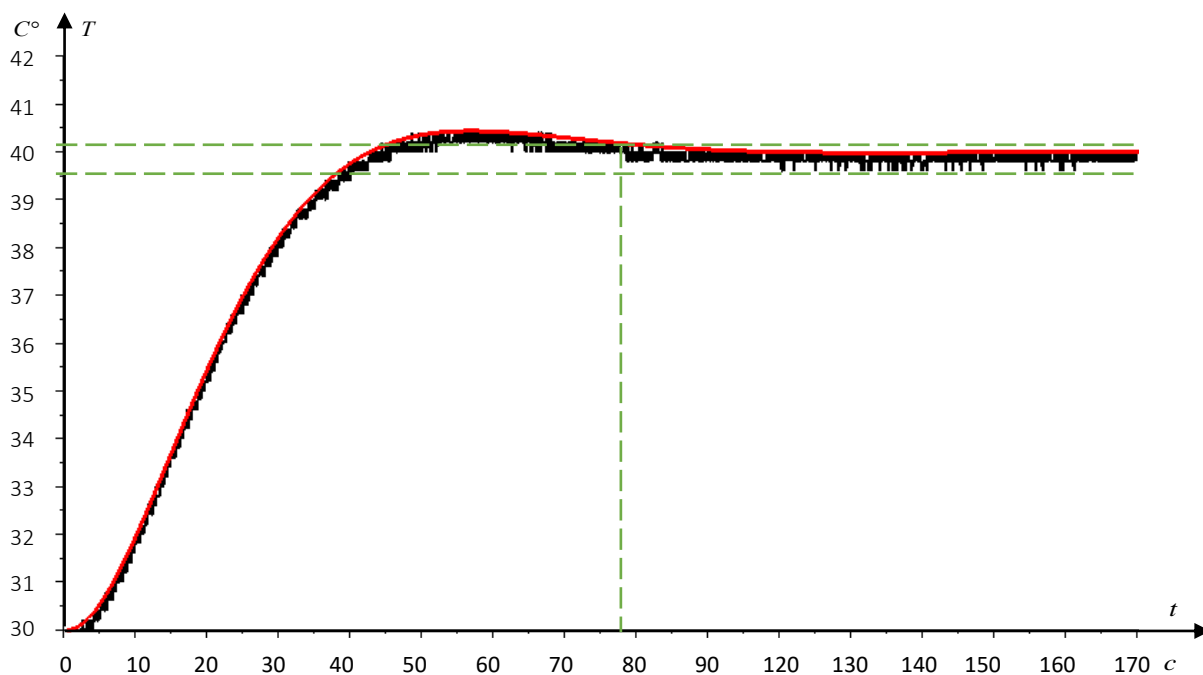


Рисунок 31 – Переходная характеристика в контуре вентиляции



## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Целью данного раздела является определение возможного объема спроса, обоснование экономической эффективности проектирования и производства лабораторной установки. Эта техника позволяет будущим специалистам получить не только теоретические, но и практические навыки работы. Только с помощью учебных лабораторных стендов можно безопасно и максимально приближенно к реальности работать с виртуальными и реальными объектами управления.

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок. Лабораторная установка может использоваться в технических колледжах и ВУЗах, а также в лабораториях и учебных классах промышленных предприятий.

Сегменты рынка. На данный момент на территории России имеется 195 средних специальных и 31 ВУЗ, занимающиеся обучением студентов по направлению «Электропривод и автоматизация», и 2078 компаний, занимающихся вентиляционными системами и оборудованием.

Основными сегментами, на которые необходимо ориентироваться, являются именно учебные заведения, но также необходимо не упускать и возможность сотрудничества с учебными классами предприятий.

Карта сегментирования рынка показана в табл. 3.

Таблица 3 – Карта сегментирования потребителей

Потребители	Лабораторные работы		
	Подключение измерительных и исполнительных устройств	Проведение исследований и написание алгоритма системы автоматизации	Работа с реальными объектами
Колледжи	+	+	
ВУЗы	+	+	
Учебные классы промышленных предприятий	+	+	+

#### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффектив-

ности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в табл. 4.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$K_{\Phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\Phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Качество интеллектуального интерфейса (простота эксплуатации)	0,24	4	5	5	0,96	1,2	1,2
3. Потребность в ресурсах памяти	0,07	2	5	5	0,14	0,35	0,35
4. Надежность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
5. Безопасность	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
3. Наличие сертификации разработки	0,1	2	5	5	0,2	0,5	0,5
<b>ИТОГО:</b>	<b>1</b>				<b>4,25</b>	<b>3,97</b>	<b>4,36</b>

Оценочная карта показывает, что разработанный стенд обладает высоким баллом для конкурентоспособности и превосходит в ряде нескольких критериев, для повышения балла необходимо получить сертификат разработки.

где  $B_{\Phi}$  – балл показателя нашей разработки;

$B_{K1}$ ,  $B_{K2}$  – балл показателя конкурентов.

Для проведения данного анализа сравнение проводится с двумя действующими лабораторными стендами «Вентиляционные системы»: 1) Учтех – профи, ВЕНТ–017–13ЛР [16], 2) ЭнергияЛаб, ЭЛБ–160.011.08 [17].

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

#### 4.1.2 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно–исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта и приведен в табл. 5.

Таблица 5 – SWOT – анализ

	<b>Сильные стороны (S)</b>	<b>Слабые стороны (W)</b>
	<p>С1. Малые габариты и вес;  С2. Быстрота изготовления;  С3. Имитация любой динамики, программно задается (звенья интегрирующие и запаздывания);  С4. Дешевые и легко заменяемые компоненты, в случае выхода их из строя в процессе обучения;  С5. Использование низковольтного (безопасного) оборудования;  С6. Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>Сл1. Малое количество прототипов и информации;  Сл2. Слабые позиции на рынке ввиду отсутствия имиджа;  Сл3. Виртуальная машина работает в течение 2 часов, после чего необходимо перезапускать программу;  Сл4. Недостаточный уровень предпринимательской компетенции.</p>
<b>Возможности (O):</b>	<b>Мероприятия (S–O)</b>	<b>Мероприятия (W–O)</b>
<p>В1. Гибкость системы для проведения различных исследовательских работ;  В2. Возможность выезда со стендом на семинар, командировку, произвести качественное обучение, переобучение, повышение квалификации, презентацию;  В3. При успешном получении тендера (гранта) расширение производства;  В4. Увеличение клиентской базы.</p>	<p>1. Заинтересованность учебных заведений в повышении качества образования;  2. Участие на конференциях, выставках, семинарах;  3. Организация промышленного производства модели с улучшенными техническими характеристиками.</p>	<p>1. Проведение постоянного мониторинга потребителей и анализ действия конкурентов;  2. Новая маркетинговая политика;  3. Разработка подробной стратегии продвижения на рынок.</p>
<b>Угрозы (T):</b>	<b>Мероприятия (S–T)</b>	<b>Мероприятия (W–T)</b>
<p>У1. Бизнес трудно прогнозируемый, т.к. плохо представлен на российском рынке;  У2. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции;  У3. Растущее конкурентное давление;  У4. Сокращение цепочки «производитель – покупатель» (как следствие, прекращение деятельности).</p>	<p>1. Проведение гибкой ценовой политики и введение системы скидок;  2. Продвижение рекламы и укрепление бренда на рынке.</p>	<p>1. Наладка устойчивой обратной связи с клиентами.</p>

### 4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня ее завершения. Для этого заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 6.

Таблица 6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	2
8	Разработан бизнес – план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
<b>ИТОГО БАЛЛОВ:</b>		<b>35</b>	<b>39</b>

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_{\text{сум}}$  – балл по  $i$ -му показателю.

Перспективность средняя, следовательно, необходимо увеличивать объемы инвестирования и улучшать направления проведения оценки стоимости интеллектуальной стоимости, повышать уровень компетенций недостающих разработчику в данном вопросе и предусматривать возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

#### **4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно – технического исследования**

При коммерциализации научно–технических разработок продавец, преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств, для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких–либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Полезная модель – это техническое решение, относящееся к устройству (ст.5 Патентного закона). Получить патент на полезную модель проще. Заявка проходит только формальную экспертизу. Формальная экспертиза устанавливает правильность составления документов – заявки, разделов описания, а также отвечает на вопрос, является ли патентуемый объект устройством, на которое можно получить патент.

По объектам, представляемым как полезные модели, отсутствует требование по изобретательскому уровню, достаточным является новизна и возможность применения в промышленном масштабе (ст.1351 ГК РФ).

Для коммерциализации объекта исследования и обоснования его целесообразности, были проработаны следующие методы коммерциализации научной разработки:

- 1) Торговля патентными лицензиями;
- 2) Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Были выбраны два метода коммерциализации, поскольку они являются менее затратными.

## 4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в табл.7.

Таблица 7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НПО ВЭСТ	Для демонстрации возможностей контроллера ВЭСТ–03; продвижения товара; привлечения внимания потенциальных партнеров и покупателей.
ИШЭ ТПУ	Замена устаревших виртуальных лаб. работ на лабораторную установку с широкими возможностями (лаб. работы, исследования, работа с виртуальными объектами), работа в промышленной среде CoDeSys для контроллеров.

В табл. 8 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 8 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка лабораторной установки исследования методов управления приводами вентиляции для контроллера ВЭСТ–03.
Ожидаемые результаты проекта:	Исследования динамических процессов в системе вентиляции.
Критерии приемки результатов проекта:	Представление методики настройки динамических контуров управления.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Безопасное напряжение питания 12В, ток 2А;
	Программирование в промышленной среде CoDeSys;
	Интерфейс связи RS–232, UART (Wi-Fi, Bluetooth);
	Малые габариты и вес.

В табл. 9 представлена информация о рабочей группе, роли и функции каждого участника в трудовом проекте.

Таблица 9 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, календ/раб. дн.
1	Шилин А.А. Профессор, д.т.н. ИШЭ ТПУ	Руководитель проекта	Выдача задание на дипломный проект, помощь в разработке календарного плана работы на весь период дипломного проектирования, рекомендация необходимой литературы, справочных материалов, типовых проектов и других источников по теме проекта, проведение предусмотренных консультаций, проверка выполнение работы	44/36
2	Устименко А.Н. Исполнитель проекта, инженер ИШЭ ТПУ	Исполнитель проекта	Сбор, обобщение и систематизация информации необходимой для разработки проектного предложения. Разработка, сбор, пуско-наладочные работы лаб. оборудования. Разработка математической модели, алгоритма решения и порядок реализации на ПК. Написание дипломного проекта, оформление иллюстративного материала.	302/247
<b>ИТОГО:</b>				<b>346/283</b>

### 4.3 Планирование управления научно–техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

#### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. 32 представлен шаблон иерархической структуры работ.

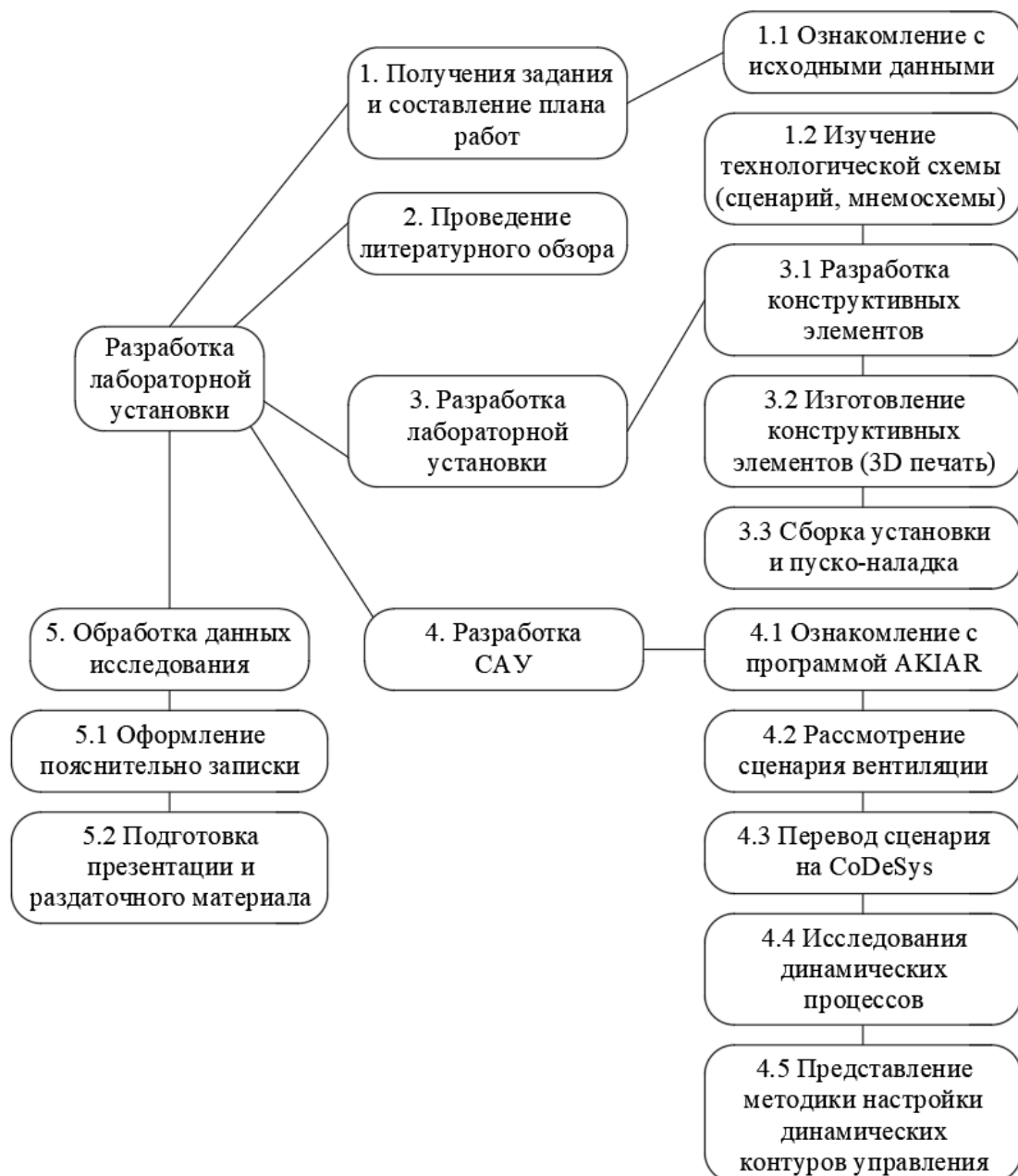


Рисунок 32 – Шаблон иерархической структуры работ по проекту

### 4.3.2 Контрольные события проекта

Определим ключевые события проекта, даты и результаты, которые должны получить по состоянию на эти даты. Эту информацию сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Сборка разработанной установки	20.11.2019	Проект в SolidWorks, Документ в формате Word
2	Разработка платы	15.02.2020	Проект в KiCad
3	Пуско-наладочные работы	26.03.2020	Документ в формате Word, Проект в CoDeSys



### Окончание таблицы 10

4	Участие в конференции	14.04.2020	Публикация
5	Исследования динамических процессов	04.02.2021	Документ в формате Word, Проект в CoDeSys, Проект в Matlab
6	Создание проекта	20.03.2021	Проект в CoDeSys
7	Методика настройки динам. контуров	28.04.2021	Документ в формате Word

### 4.3.3 План проекта

Для выполнения целесообразного и рационального планирования необходимо разработать календарный план, который включает в себя основные этапы разработки и создания проекта. Линейный график представлен в виде табл. 11.

Таблица 11 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Выбор направления исследования	1	10.10.20	10.10.20	Шилин А.А. Устименко А.Н.
2	Составление технического задания	1	11.10.20	11.10.20	Шилин А.А. Устименко А.Н.
3	Изучение литературы	10	11.10.20	20.10.20	Устименко А.Н.
4	Разработка лабораторной установки, изготовление всех элементов	30	21.10.20	20.11.20	Устименко А.Н.
5	Разработка платы	8	12.11.20	19.11.20	Шилин А.А. Устименко А.Н.
6	Сборка установки	5	20.11.20	24.11.20	Устименко А.Н.
7	Пуско-наладочные работы	12	24.11.20	04.12.20	Шилин А.А. Устименко А.Н.
8	Изучение сценариев (логики) систем вентиляции	20	14.12.20	24.12.20	Устименко А.Н.
9	Разработка библиотеки Akiag в CoDeSys	126	24.12.20	26.04.21	Шилин А.А. Устименко А.Н.
10	Исследования динамических процессов	26	26.03.21	13.04.21	Устименко А.Н.
11	Методика настройки динамических контуров	84	01.04.21	26.06.21	Шилин А.А. Устименко А.Н.

Для предоставления календарного плана более наглядным образом, используем диаграмму Ганта (табл. 12). Диаграмма Ганта представляет собой тип

столбчатых диаграмм (гистограмм), которые используются для иллюстрации графика или плана работ, для различных проектов. Данные диаграммы используются в качестве одного из методов, при планировании проектов.

График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. Момент начала и завершения работы на диаграмме определяются концами полос, а протяженность характеризует длительность работы. Вертикальная ось отображает перечень поставленных задач. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой или цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. На данной диаграмме цветами приведены Устименко А.Н. (зеленый), Шилин А.А. (синий).

Также, на диаграмме Ганта можно выделить совокупные задачи, отметить проценты завершения, отметить метки ключевых моментов (вехи) и др. Веха представляет собой метку значимого момента в ходе выполнения работ, общую границу двух или более задач. Веха является важным понятием диаграммы Ганта и позволяет наглядным образом подчеркнуть нужду синхронизации в выполнении различных работ.

#### **4.4 Контрольные события проекта**

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

- материальные затраты проекта;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Таблица 12 – Календарный план–график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> календ. дн.	Продолжительность выполнения работ																						
				Окт.		Нояб.			Декаб.			Янв.			Фев.			Март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор направления исследования	Руководитель, Инженер (дипломник)	1 1	■																						
2	Составление технического задания	Руководитель, Инженер	1 1	■																						
3	Изучение литературы	Инженер	10	■	■																					
4	Разработка лабораторной установки, изготовление всех элементов	Инженер	30		■	■	■	■																		
5	Разработка платы	Руководитель, Инженер	3 8				■	■																		
6	Сборка установки	Инженер	5					■																		
7	Пуско-наладочные работы	Руководитель, Инженер	3 12						■	■																
8	Изучение сценариев (логики) систем вентиляции	Инженер	20							■	■	■														
9	Разработка библиотеки Аkiag в CoDeSys	Руководитель, Инженер	13 126										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
10	Исследования динамических процессов	Инженер	26																	■	■	■				
11	Методика настройки динамических контуров	Руководитель, Инженер	15 84																				■	■		

#### 4.4.1 Определение стоимости материальных затрат

Расчет стоимости материальных затрат включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно – измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для выполнения конкретной темы, сводятся в табл. 13.

Таблица 13 – Затраты на комплектующие

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Ящик-чемодан алюминиевый 430x10x130	1	2 195	2 195
2.	Лист орг-стекло с резкой по размерам	1	1 600	1 600
3	Блок питания HDR-30-12	1	1 100	1 100
4	Переходная плата с пайкой всех элементов	1	1 200	1 200
5	Пластик ABS, 500 гр.	1	1200	600
6	Датчик температуры DS18B20	4	45	180
7	Калорифер (резисторы 1 Вт, 150 Ом)	40	8	320
8	Кулер 80x80x15	1	680	680
9	Сервопривод SG90	1	190	190
10	Светодиоды	5	10	50
11	Переключатели	5	25	125
12	Гнездо питания	1	60	60
13	Соединительные провода		100	100
14	Крепежный материал		120	120
			<b>ИТОГО:</b>	<b>8 710</b>

Рассчитаем расходы, связанные с заготовкой и доставкой материальных ценностей:

$$Z_M = M \cdot \gamma = 8710 \cdot 1,15 = 10\,015 \text{ руб.}$$

где  $M$  – материальные затраты;

$\gamma$  коэффициент ТЗР, равный 15%.

#### 4.4.2 Амортизация

Рассчитаем амортизацию отчислений. Амортизация рассчитывается для оборудования свыше 100 тыс. руб.

Расчет амортизационных отчислений, на полное восстановление основных средств, производится по нормативам амортизации утвержденном в установленном действующим законодательством порядке, и определенным в зависимости от балансовой стоимости оборудования. При проектировании используем ПК, стоимость которого составляет 56 тыс. руб. и 3D принтер для изготовления необходимых элементов в 12 тыс. руб.

#### 4.4.3 Полная заработная плата исполнителей

Включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12–15 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot F_{дн},$$

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

$F_{дн}$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{окл} + Z_{р.к.}}{F_0},$$

где  $F_{дн}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе, 22 при 5 – дневной рабочей неделе), раб. дн.;

$Z_{окл}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{p.k.}$  – районная доплата, руб.

Расчет основной заработной платы приведен в табл. 14.

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в табл. 15.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во раб. дн.	Основная заработная плата руб.
Руководитель	48 107	1,3	62 539	2 842,68	36	102 336,48
Инженер	21 611	1,3	28 094	1 277	247	315 419
<b>ИТОГО:</b>						<b>417 755,48</b>

Таблица 15 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб.	Дополнительная заработная плата руб.	Полной заработной платы, руб.
Инженер	0,15	102 336,48	15 350,47	117 686,95
Работник	0,15	315 419	47 312,05	362 7310,5
<b>ИТОГО:</b>			<b>62 662,47</b>	<b>480 418</b>

#### 4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП},$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 28.11.2018 №446 – ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП} = 30,2\% \cdot 480418 = 145086,26 \text{ руб.}$$

#### 4.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов ис-

следования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$Z_{\text{накл}} = (\text{затраты на тех.проект}) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (Z_M + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{отч}}) \cdot k_{\text{нр}} = \\ &= (10015 + 417755,48 + 62662,47 + 145086,26) \cdot 0,16 = 101\,683 \text{ руб.} \end{aligned}$$

#### 4.4.6 Формирование сметы проекта

Для формирования бюджета затрат проекта опираемся на рассчитанную величину затрат проекта. При составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку необходимой продукции.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ, которая сведена в табл. 16.

Таблица 16 – Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	В % к итогу
Материальные затраты НТИ	10 015	1,36
Затраты по основной заработной плате	417 755,48	56,66
Затраты по дополнительной заработной плате	62 662,47	8,5
Отчисления во внебюджетные фонды	145 105,26	19,68
Накладные расходы	101 683	13,8
<b>Бюджет затрат ТП</b>	<b>737 221,21</b>	<b>100</b>

#### 4.5 Формирование сметы проекта

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}},$$

где  $I_{\phi}^p$  – интегральный показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$  – го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Максимальные затраты на покупку комплектующих для создания прототипа были приняты равными 20 тыс. руб.

Стоимость комплектующих варианта исполнения текущей разработки равна 10 015 руб. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 737 221,21, включая бюджет затрат НИИ.

Стоимость варианта исполнения аналога Учтех – профи, ВЕНТ–017–13ЛР [16], составляет 230 600 рублей. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 339 880 рублей, включая бюджет затрат НИИ.

Стоимость варианта исполнения аналога ЭнергияЛаб, ЭЛБ–160.011.08 [17], составляет 168 360 рублей. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 260 580 рублей, включая бюджет затрат НИИ.

$$\Phi p1 = 10015 + 727\,206,21 = 737\,221,21 \text{ руб},$$

$$\Phi p2 = 230\,600 + 727\,206,21 = 957\,806,21 \text{ руб},$$

$$\Phi p3 = 168\,360 + 727\,206,21 = 890\,566,21 \text{ руб},$$

$$I_{\phi 1}^p = \frac{\Phi p1}{\Phi_{\max}} = \frac{737\,221,21}{957\,806,21} = 0,77,$$

$$I_{\phi 2}^p = \frac{\Phi p2}{\Phi_{\max}} = \frac{957\,806,21}{957\,806,21} = 1,$$

$$I_{\phi 3}^a = \frac{\Phi p3}{\Phi_{\max}} = \frac{890\,566,21}{957\,806,21} = 0,93.$$

Следовательно, исходя из этого, можно сделать вывод, что интегральный показатель разработки текущего проекта показывает удешевление стоимости разработки в 0,77 раз (около 23%), а интегральный показатель разработки аналога ЭнергияЛаб в 0,93 раз (около 7%), т.е. удорожание на 16% относительно стоимости разрабатываемой лабораторной установки системы вентиляции.

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;



$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – банальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для определения ресурсоэффективности проекта рекомендуется рассмотреть следующие критерии, см. табл. 17:

1. Удобство в эксплуатации;
2. Надежность;
3. Безопасность;
4. Экономичность;
5. Гибкость.

Таблица 17 – Критерии ресурсоэффективности и их характеристики

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Балльная оценка аналога 1	Балльная оценка аналога 1
1. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	4
2. Надежность	0,25	4	5	5
3. Безопасность	0,15	4	4	5
4. Экономичность	0,15	5	4	4
5. Гибкость	0,25	5	4	3
<b>Итого:</b>	<b>1,00</b>	<b>4,6</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр1}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф1}^p} = \frac{4,6}{0,77} = 5,97,$$

$$I_{финр2}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф2}^p} = \frac{4,2}{1} = 4,2,$$

$$I_{финр3}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф3}^p} = \frac{4,2}{0,93} = 4,51.$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$Эсп_1 = \frac{I_{финр1}^p}{I_{финр2}^a} = \frac{5,97}{4,2} = 1,42,$$

$$Эср_2 = \frac{I_{финр1}^p}{I_{финр3}^a} = \frac{5,97}{4,51} = 1,32.$$

где  $Эср$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$  – интегральный технико–экономический показатель аналога.

Отразим сравнительную эффективность разработки в табл. 18.

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог ВЕНТ– 017–13ЛР	Аналог ЭЛБ– 160.011.08
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,77	1	0,93
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,2	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	5,97	4,2	4,51
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,7	0,76

## 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе рассматриваются правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, связанные с проведением лабораторных работ в лабораториях и учебных классах промышленных предприятий, вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

### 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Требования по организации и оборудованию рабочих мест в лабораторных помещениях: [18]:

- для организации работы лаборатории, в зависимости от ее профиля, обеспечивается необходимое количество помещений;
- строительство лабораторий ведется в соответствии с СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты»;
- микроклимат в лабораторных помещениях должен соответствовать требованиям, предусмотренным СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования; к микроклимату производственных помещений», утвержденными Госкомсанэпиднадзором России от 01.10.1996 г. № 21;
- температура воздуха в лабораторных помещениях должна поддерживаться в пределах 18 – 21 °С. Для районов III и IV климатических зон в теплый период года следует устанавливать кондиционеры с охлаждением воздуха;
- все помещения лаборатории должны иметь естественное и искусственное освещение, отвечающие требованиям, предусмотренным СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования». Для отдельных комнат допускается отсутствие естественного освещения;
- отопление, вентиляция и кондиционирование помещений следует предусматривать в соответствии с СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».
- лаборатория должна быть обеспечена боксами с приточно–вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, центральным отоплением;
- шум в лаборатории должен нормироваться в соответствии с СН.2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;

- в коридорах или доступных местах должны быть размещены щиты с набором противопожарного инвентаря и установлены пожарный гидрант и огнетушитель. Огнетушитель следует также размещать в помещениях, где проводится работа с огне- и взрывоопасными реактивами и опасными в пожарном отношении нагревательными приборами;

- оборудование и приборы, используемые в лаборатории должны иметь сертификаты и разрешение на применение в Российской Федерации;

- производственное оборудование и аппаратура должны быть выполнены в безопасном исполнении и соответствовать ГОСТ Р 50571.3–2009;

- для каждого вида аппаратуры, механизмов или оборудования, установленных в лаборатории, должна быть составлена инструкция по их эксплуатации и вывешена на рабочем месте, периодически через каждые два года она переутверждается. Кроме того, на видных местах необходимо вывешивать плакаты по технике безопасности;

- при эксплуатации приборов и аппаратов необходимо строго руководствоваться правилами, изложенными в техническом паспорте. Приборы должны быть заземлены, если этого требует инструкция по их эксплуатации. Исправность электроприборов, работающих круглосуточно, должна проверяться ежедневно, а работающих периодически – один раз в два месяца.

ТК РФ Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда [19].

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90–ФЗ).

Работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;

- применение прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке средств индивидуальной и коллективной защиты работников (в ред. Федерального закона от 30.12.2008 N 313–ФЗ);

- обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90–ФЗ);
- обязательное социальное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- ознакомление работников с требованиями охраны труда;
- санитарно–бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников в соответствии с требованиями охраны труда, а также доставку работников, заболевших на рабочем месте, в медицинскую организацию в случае необходимости оказания им неотложной медицинской помощи (в ред. Федеральных законов от 30.06.2006 N 90–ФЗ, от 25.11.2013 N 317–ФЗ).

## 5.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при работе в лабораторном помещении.

Вредные факторы – это такие факторы, воздействие которых на работника может привести к его заболеванию. Опасные факторы – это такие факторы, воздействие которых на работника может привести к его травме.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для описанной рабочей среды (табл. 19) [20, 21].

Таблица 19 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Превышение уровня шума	–	+	–	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	–	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ Р 55710–2013. Освещение рабочих мест внутри зданий

## Окончание таблицы 19 – Возможные опасные и вредные факторы

Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003.
Электрический ток	+	+	+	ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ГОСТ 33542–2015. Основополагающие принципы и принципы безопасности для интерфейса «человек–машина», выполнение и идентификация. ГОСТ Р 50571.3–2009. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током. ГОСТ 12.0.004–2015. Организация обучения безопасности труда
Короткое замыкание	+	+	+	ГОСТ 26522–85. Короткие замыкания в электроустановках. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках
Статическое электричество	+	–	+	ГОСТ ИЕС TR 61340–5–2–2021. Электростатика. Защита электронных устройств от электростатических явлений. ГОСТ ИЕС 61340–5–1–2019. Защита электронных устройств от электростатических явлений.
Психофизиологические факторы	+	–	+	СП 2.2.3670–20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.
Вибрации	–	–	–	ГОСТ 31192.2–2005. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

## 5.2 Анализ выявления вредных, опасных факторов и мероприятия по снижению уровней воздействия

### 5.2.1 Шум

Шум с уровнем звукового давления до 30...35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 70 дБ приводит к неблагоприятным для организма последствиям. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменя-

ются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессоницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что, в конечном счете, приводит к понижению работоспособности.

В нашем лабораторном стенде работе источниками производственного шума является сервопривод, вентилятор и работающий ПК. Предельно допустимые уровни шума приведены в таблице 20 [22].

Таблица табл. 20 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полюсах со среднегеометрическими частотами, Гц									Экв. уровни звука(Дб)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Уровень шума, в лаборатории электроники и микропроцессорной техники должен соответствовать ГОСТ 12.1.003–2014.

Согласно проведенным измерениям, уровень шума находится в допустимых пределах 40 – 50 Дб и не требует мероприятий по снижению.

### 5.2.2 Освещение

Для всех лаборатории и учебные классы промышленных предприятий предусматривается использование естественного и искусственного освещения.

Освещенность рабочего стола должна по ГОСТ Р 55710–2013 быть не менее 300–500 лк, что может достигаться установкой местного освещения (светильников). Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Расположение светильников должно выбираться таким образом, чтобы яркость бликов на экране не превышала 40 кд/м<sup>2</sup>. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Проектирование искусственного освещения осуществляется в соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП [23], коэффициент естественной освещенности (КЕО) должен быть обеспечен не меньше 1,5%.

Для обеспечения искусственного освещения в помещении с ПЭВМ должна быть установлена система общего равномерного освещения.

Произведем расчет помещения, принимая исходные данные:

Площадь помещения  $S = 36 \text{ м}^2$ ; напряжение питающей сети 220В; коэффициенты отражения  $\rho_{\text{П}} = 0,7$ ,  $\rho_{\text{С}} = 0,5$ ,  $\rho_{\text{Р}} = 0,1$  строительная высота помещения; в качестве источника света выбираем ЛЛ типа ЛД-40, мощностью 40 Вт, расчетная величина светового потока одной лампы  $\Phi_{\text{л}} = 2225 \text{ лм}$ ; в соответствии с характером помещения выбираем светильник типа ЛПО 2x40=>Д,  $\lambda = 1,5$ .

Высота свеса светильников:  $h_{\text{С}} = 0,1 \text{ м}$ .

Высота рабочей поверхности:  $h_{\text{Р}} = 0,8 \text{ м}$ .

Определим расчетную высоту:

$$h = H - h_{\text{С}} - h_{\text{Р}} = 3 - 0,1 - 0,8 = 2,1 \text{ м}.$$

Определим наивыгоднейшее расстояние между светильниками:

$$\lambda = \frac{L}{h} \Rightarrow L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2,1 = 3,15 \text{ м}.$$

Исходя из геометрических размеров помещения, необходимо разместить два ряда светильников по длине помещения.

Определим расстояние от светильников до стен:

$$l = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 3,15 = 1,6 \text{ м},$$

где 0,5 – коэффициент, учитывающий расстояние между светильниками и светильников до стен.

Для определения коэффициента использования, необходимо найти индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{8 \cdot 4,5}{2,1(8 + 4,5)} = \frac{8 \cdot 4,5}{2,1(8 + 4,5)} = 1,37.$$

Для данного типа светильника:  $\eta_{\text{Н}} = 0,5$ ; коэффициент запаса  $\kappa_3 = 1,5$ ; коэффициент неравномерности  $Z = 1,1$ .

Световой поток всех источников света:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot \kappa_3 \cdot Z}{\eta_{\text{Н}}} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,5} = 35640 \text{ лм}.$$

Так как в каждом светильнике две лампы, то общее число светильников  $n_{\text{св}}$ :

$$n_{\text{св}} = \frac{\Phi}{2 \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{35640}{2 \cdot 2225} = 8 \text{ шт}.$$



Принимаем к установке восемь светильников, в каждом ряду по четыре, схема показана на рис. 33.

Уровень освещения, в лаборатории электроники и микропроцессорной техники должен соответствовать СП 52.13330.2016, ГОСТ Р 55710–2013.

Согласно проведенным измерениям, уровень естественного и искусственного освещения в допустимых пределах 300 – 500 лк и не требуют мероприятий по увеличению.

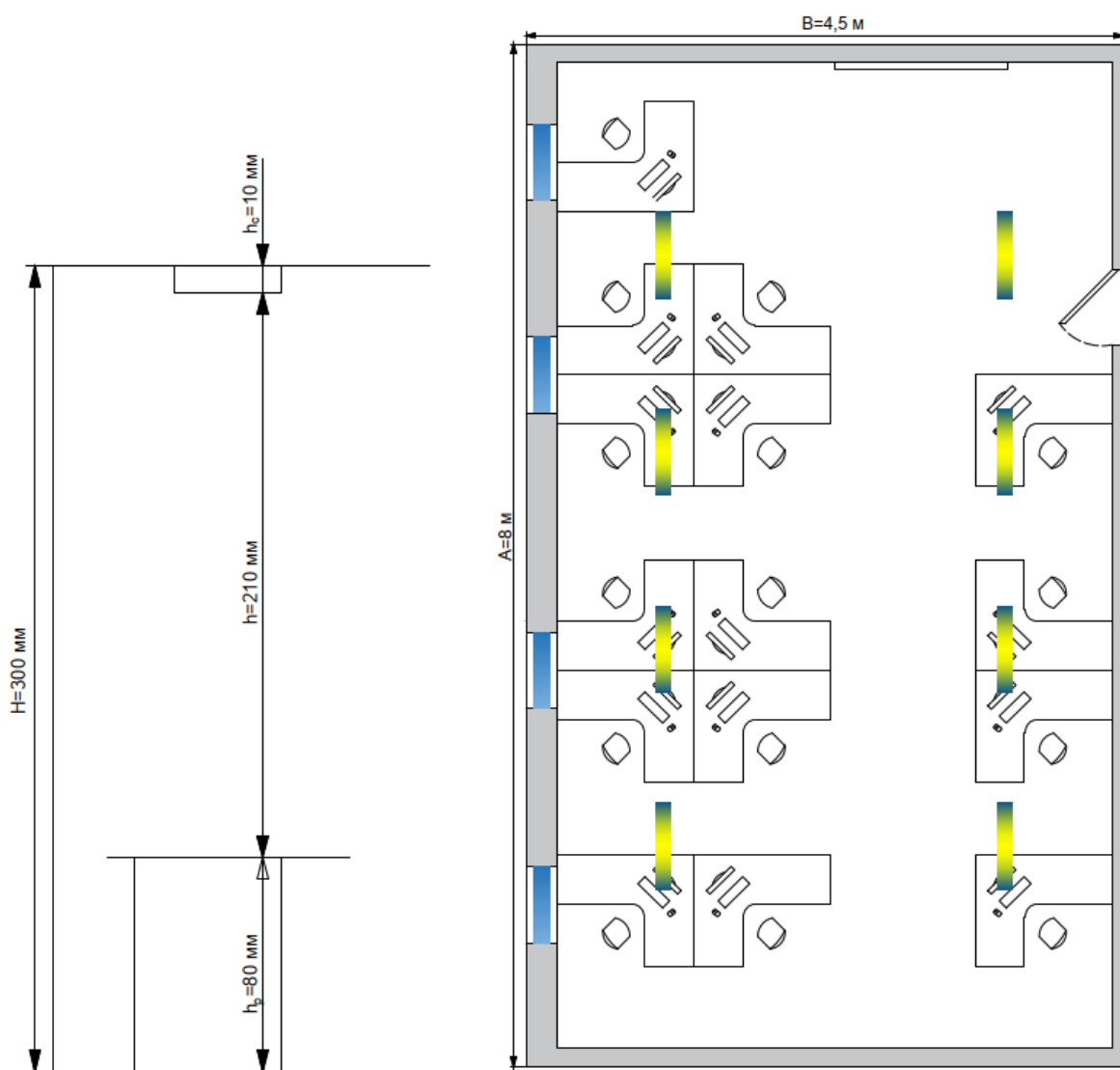


Рисунок 33 – Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп

### 5.2.3 Микроклимат

Под микроклиматом понимают качество воздушной среды в рабочей зоне. Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические

условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока [24].

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку с категорией по тяжести Ia приведены в табл. 21.

Таблица 21 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
Холодный	Ia	22 – 24	20 – 25	от. 45	15 – 75	0,1	до 0,1
Теплый	Ia	23 – 25	21 – 28	40 – 55	15 – 75	0,1	0,1 – 0,2

Одним из факторов влияющим на микроклимат в помещении при работе с ПЭВМ являются источники тепла, к ним относится установленное в помещении оборудование и приборы освещения, а также солнечная радиация. Причем наибольшие суммарные тепловыделения дают ПЭВМ в среднем до 80 %. Доля приборов освещения в свою очередь составляют в среднем 12%, от солнечной радиации – 6%, а доля обслуживающего персонала и величина притока теплоты через непрозрачные ограждающие конструкции составляют лишь по 1%.

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров используются системы вентиляции и отопления.

Для обеспечения оптимальных микроклиматических параметров и очистки воздуха в помещении применяют систему естественной вентиляции.

Уровень микроклиматических условий должен соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ.

Микроклиматические условия находится в допустимых пределах температуры в теплый сезон 24–27 С°, в холодный сезон 20–24 С°, но для обеспечения наиболее комфортных условий работы в весенне–летнее время года предлагается установка вентиляторов или системы кондиционирования.

#### 5.2.4 Электрический ток и короткое замыкание

К опасным факторам можно отнести наличие в лаборатории большого количества оборудования, использующего однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности электропоражения лаборатория электроники и микропроцессорной техники относится к помещениям без повышенной опасности.

В качестве дополнительной защиты электроприборов установлен сетевой фильтр, который предназначен для подавления высокочастотных помех, негативно сказывающихся на работе электрооборудования.

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения электрическим током практически отсутствует, однако существуют аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями [25].

Поражение человека током может произойти в следующих случаях:

- при возникновении короткого замыкания в электроприборе;
- при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование токоведущих частей, исключаящее возможное соприкосновение с ними;
- установки защитного заземления и зануления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- малое напряжение;
- соблюдение техники безопасности ГОСТ 12.0.004–2015;
- соблюдение мер безопасности в ходе выполнения задач;
- регулярный контроль за состоянием оборудования, организация необходимого планового ремонта, технического обслуживания и инструктажи сотрудников на местах.

### **5.2.5 Статическое электричество**

Компьютер является источником электростатического и электромагнитного поля. Электромагнитные поля контролируют в двух диапазонах: от 5 Гц до 2 кГц, от 2 до 400 кГц. Среди неудовлетворительных результатов измерений электромагнитного поля персональных компьютеров, превышения напряженности чаще всего наблюдаются у электрического поля, реже у магнитного поля. Если в помещении отсутствует заземление, то напряженность электрического поля возрастает в обеих частотах. При наличии в помещении сторонних источников электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) возрастает напряженность на частоте 5Гц –2кГц по обоим параметрам. Скученность компьютеров негативно влияет на электромагнитную обстановку в целом.

У людей, находящихся в зоне воздействия электростатического поля, встречаются разнообразные жалобы: на раздражительность, головную боль, нарушение сна, снижение аппетита.

Чтобы исключить негативные воздействия этих факторов на организм человека, необходимо иметь качественное заземление компьютера. Более эффективным средством защиты является увеличение влажности воздуха до 65–75 %, когда это возможно [26].

Также необходимо соблюдать оптимальный режим труда и отдыха.

При правильной организации рабочего место пользователя, при наличии заземления негативное влияние электромагнитных полей на организм человека можно исключить. Необходимо проводить производственный контроль электромагнитного излучения от персональных компьютеров на рабочих местах периодичностью один раз в год.

Электростатические поля находится в допустимых пределах.

### **5.2.6 Психофизиологические факторы**

Психофизиологические ОВПФ (физические и нервно–психофизические перегрузки) оказывают многообразное отрицательное влияние на нервную, сердечно–сосудистую и дыхательную системы.

Умственное перенапряжение возможно в результате продолжительной умственной работы в условиях нерациональной ее организации. При этом

нарастает напряжение, нарушается равновесие нервных процессов, что проявляется в форме неврозов, функциональных расстройств. Монотонность труда имеет место при чрезмерном дроблении технологических процессов на мелкие и простейшие операции. При многократном повторении простейших движений работающий испытывает скуку, сонливость, падение интереса к работе [27].

Нервно–психические перегрузки подразделяются на следующие:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо:

- дать нервной системе расслабиться;
- рационально чередовать периоды отдыха и работы;
- начать заниматься спортом;
- ложиться спать в одно и то же время;
- в тяжелых случаях обратиться к врачу.

Трудовой кодекс говорит о следующих перерывах в работе в течение рабочего дня:

- перерыв для отдыха и питания (так называемый обеденный перерыв) (ст. 108 ТК РФ).

Продолжительность регламентированных перерывов при работе за компьютером, при 8 – часовой рабочей смене, суммарное время восстановления от 50 до 90 мин; 12 – часовой рабочий день вынуждает устанавливать перерывы, суммарной продолжительностью от 80 до 140 мин. К примеру, если человек в течении 8 часового рабочего дня работает за компьютером 50% рабочего времени (т.е. до 4 часов), то суммарное время перерыва отдыха от ПЭВМ должен составлять 70 мин.

Перерыв делается раз в час на 10–15 мин, что соответствует нормам.

### **5.2.7 Вибрации**

Вибрация как производственная вредность представляет собой механические колебательные движения, непосредственной передаваемые телу человека или отдельным его участкам.

Негативное воздействие вибрации на человека усиливают значительные мышечные нагрузки, интенсивный шум, отклонения от комфортного температурного режима. Уровень показателя на рабочих местах регулирует СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [28].

Защита от вибрации обеспечивается:

- проектированием производственных помещений и технологических процессов, которые обеспечивают соблюдение на рабочих местах санитарных норм;
- организационно–техническими мероприятиями, цель которых – улучшение эксплуатации используемых машин ПЭВМ, организация их своевременного ремонта, а также контролем вибрационных параметров;
- созданием оптимальных режимов труда и отдыха.

Вибрации находится в пределах 8 – 16 Гц, 40 – 50 Дб которые согласно СН 2.2.4/2.1.8.566–96 являются допустимыми.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Работа в лаборатории сопряжена с образованием твердых отходов. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства–надлежит руководствоваться процедуре утилизации ГОСТ Р 53692–2009 Ресурсосбережение: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28.12.2020 №2314. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация

возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртуть содержащих ламп.

При выполнении ВКР никакого ущерба окружающей среде не было нанесено.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Возможности возникновения ЧС на территории лабораторий и учебных классов промышленных предприятий не было выявлено.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

Причинами возгорания при работе с компьютером могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность устройства компьютера или электросетей;
- небрежность оператора при работе с компьютером;
- воспламенение ПК из-за перегрузки.

В связи с этим, согласно ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования», при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности [29]:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку;
- работы за компьютером проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов;
- обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения возгорания (пожара); системой противопожарной защиты; организационно–техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности и проведение плановых инструктажей на местах.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>.

Организационно–технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

Тушение возгорания организуется первичными средствами с момента обнаружения очага горения. В случае, если самостоятельно потушить огонь не удалось, незамедлительно сообщается пожарной охране по телефону 01, 101, сообщается руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Пострадавшим при возгорании обеспечивается скорая медицинская помощь.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы являлось разработать лабораторную установку, произвести исследования методов управления приводами вентиляции для контроллера ВЭСТ–03 и представить методику настройки динамических контуров управления.

В качестве примера была взята система приточной вентиляции, которая достаточно сложна и имеет широкое применение, на базе этой системы и была разработана лабораторная установка.

В процессе создания лабораторной установки были изучены такие программы как: SolidWorks для проектирования основных узлов, после чего они были напечатаны с помощью современных средств прототипирования 3D принтера, в KiCad спроектирована переходная плата для подключения исполнительных и измерительных устройств к плате. С целью тестирования системы управления был построен стартовый шаблон в принятом виде мнемосхем и получена трассировка системы, на основании которой будет производиться настройка ПИД–регулятора.

После проверки работоспособности установки был взят и изучен один из сценариев на действующем объекте написанный на web платформе Akiar, который был в дальнейшем переведен на CoDeSys. Также создана собственная библиотека на FBD блоках, позволяющая конвертировать проекты из одной программной среды в другую, поскольку на начальном этапе CoDeSys сложен, а Akiar имеет более приятный и понятный интерфейс.

По полученной трассировке системы были определены динамические характеристики и с помощью модального метода получены коэффициенты ПИД–регулятора и построен переходный процесс объекта.

В рамках магистерской исследовательской работы были опубликованы и доложены на конференциях статьи: «Разработка стенда – прототипа системы вентиляции на базе Arduino и CoDeSys» [30], «Экспериментальная установка исследования процессов осушением воздуха на базе Arduino и CoDeSys» [31], «Разработка стенда – прототипа системы вентиляции на базе Arduino и CoDeSys» [32]. Бакалаврская работа была представлена в виде стартапа.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведено сравнение и оценка критериев лабораторных установок выбран разрабатываемый стенд, т.к. он обладает оптимальными техническими показателями при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения НИИ, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение пуско-наладочных работ затрачено 727 206,21 руб., на приобретение оборудования 10 015 руб. Работы были проведены за 247 рабочих дня бригадой из двух человек. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее результативной, получается наша разработка. Однако, детальная оценка экономической эффективности, выходит за пределы данного исследования и нуждается в дальнейшей проработке.

В разделе «Социальной ответственности» были рассмотрены такие вопросы:

- правовые нормы работы в лабораториях и организационные мероприятия при компоновке рабочего места.
- произведен анализ вредных и опасных производственных факторов, которые могут воздействовать на персонал в рабочей зоне (поражение электрическим током, шум, освещение, микроклимат);
- определен вред, наносимый окружающей среде, в результате образования различных отходов;
- выявлены характерные опасные факторы: возгорание и поражение электрическим током.

К каждому разделу прописаны нормативные документы, которыми нужно руководствоваться при исследовании, моделирование устройства на рабочем месте. Установлено что рабочее место соответствует всем нормативам.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования/ Под ред. Проф. Дьяконова В. П. – М.: СОЛОН–Пресс. 2004. – 256 с.
2. Шилин А.А. Линейные системы в теории автоматического управления: учебное пособие/ А.А. Шилин, Д.Ю. Ляпунов, Л.А. Паюк, С.В. Ляпушкин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд–во Томский политехнический университет, 2019. – 178 с.
3. Энциклопедия АСУ ТП. Системы программирования на языках МЭК 61131–3 [Электронный ресурс] [https://www.bookasutp.ru/Chapter9\\_3.aspx](https://www.bookasutp.ru/Chapter9_3.aspx) (дата обращения 10.03.2021).
4. ОВЕН. Контроллеры для диспетчеризации, телемеханики и учета ресурсов [Электронный ресурс] [owen-prom.ru](http://owen-prom.ru) (дата обращения 10.03.2021).
5. НПО ВЭСТ. Устройства управления и связи. [Электронный ресурс] <https://npowest.ru> (дата обращения 12.03.2021).
6. ПКЛ: дискретные входы/ выходы [Электронный ресурс] <https://www.compel.ru/lib/96415> (дата обращения 12.03.2021).
7. Интерфейсы связи, используемые в программируемых логических контроллерах. [Электронный ресурс] [https://studme.org/176964/tehnika/interfeysy\\_svyazi\\_ispolzuemye\\_programmiruemyh\\_logicheskikh\\_kontrollerah](https://studme.org/176964/tehnika/interfeysy_svyazi_ispolzuemye_programmiruemyh_logicheskikh_kontrollerah) (дата обращения 12.03.2021).
8. Интерфейсы. RS–232. [Электронный ресурс] <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm> (дата обращения 12.03.2021)
9. Wi-Fi модуль ESP–01. [Электронный ресурс] <https://robotchip.ru/obzor-modulya-esp-01-na-chipe-esp8266> (дата обращения 12.03.2021).
10. Модули Bluetooth HC–05/06. [Электронный ресурс] <https://voltiq.ru/arduino-and-hc-05-hc-06> (дата обращения 12.03.2021).
11. Самый гибкий язык программирования [Электронный ресурс] <https://biysk-tv.ru/raznoe/st-yazyk-programmirovaniya-codesys-yazyk-st-codesys-samyj-gibkij-yazyk-programmirovaniya.html> (дата обращения 14.03.2021).

12. Языки программирования контроллеров. Особенности применения языков FBD, LD [Электронный ресурс] <https://na-journal.ru/3-2019-tehnika/1897-yazyki-programmirovaniya-kontrollerov-osobennosti-primeneniya-yazykov-fbd-ld> (дата обращения 14.03.2021).

13. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 [Электронный ресурс] [https://owen.ru/uploads/134/codesys\\_v23\\_ru.pdf](https://owen.ru/uploads/134/codesys_v23_ru.pdf) (дата обращения 16.03.2021).

14. Web платформа AKIAR [Электронный ресурс] <https://akiar.npwest.ru> (дата обращения 18.03.2021).

15. АСУТП. Определение параметров переходных характеристик [Электронный ресурс] <https://automation-system.ru/main/10-regulyator/xarakteristiki-i-svoystva/20-70-opredelenie-parametrov-perexodnyx-xarakteristik.html> (дата обращения 25.03.2021).

16. Учтех–Профи. Типовой комплект учебного оборудования «Вентиляционные системы» ВЕНТ–017–13ЛР [Электронный ресурс] <http://labstand.ru> (дата обращения 18.03.2021).

17. ЭнергияЛаб. Типовой комплект учебного оборудования «Вентиляционные системы» Модель: ЭЛБ–160.011.08 [Электронный ресурс] <https://www.vrnlab.ru> (дата обращения 18.03.2021).

18. Электронный фонд. Правовой и нормативно – технической документации [Электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/9037002> дата обращения (21.03.2021).

19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197–ФЗ (ред. от 09.03.2021) [Электронный ресурс]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683) дата обращения (21.03.2021).

20. Электронный фонд. Система стандартов безопасности труда ГОСТ 12.0.003–2015 [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> дата обращения (22.03.2021).

21. Электронный фонд. Инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере №32–19–П [Электронный ресурс].

<https://docs.cntd.ru/document/554462854?marker=6500IL> дата обращения (22.03.2021).

22. Электронный фонд. Система стандартов безопасности труда. Шум [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/5200291?section=text> дата обращения (22.03.2021).

23. Электронный фонд. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/456054197> дата обращения (22.03.2021).

24. Электронный фонд. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> дата обращения (22.03.2021).

25. Электронный фонд. Электроустановки низковольтные [Электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/1200082275> дата обращения (23.03.2021).

26. Электронный фонд. Электростатика. Защита электронных устройств от электростатических явлений. [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200178080> дата обращения (23.03.2021).

27. Электронный фонд. Санитарно–эпидемиологические требования к условиям труда. [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/573230583> дата обращения (23.03.2021).

28. Электронный фонд. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/901703281> дата обращения (25.03.2021).

29. Электронный фонд. Пожарная безопасность. [Электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/9051953> дата обращения (27.03.2021).

30. Устименко А.Н. Разработка стенда–прототипа системы вентиляции на базе Arduino и CodeSys// Энергетика. Сборник докладов XLV научно–практической конференции Малой академии наук РК «Интеграция образования и науки–шаг в будущее», г. Павлодар, 12 апреля 2019 г. –Павлодар, 2019. – 2019. –С. 113–117.

31. Нгуен В. В., Устименко А. Н. Экспериментальная установка исследования процессов осушением воздуха на базе Arduino и CoDeSys //Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно–практической конференции. – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019. – №. 1–2. – С. 87–91.

32. Устименко А.Н. Разработка стенда–прототипа системы вентиляции на базе Arduino и CodeSys// Энергетика и металлургия. Сборник докладов XLVI Международной научно–практической конференции Малой академии наук Республики Казахстан «Интеграция образования и науки – шаг в будущее», посвященной 25–летию Конституции Республики Казахстан, г. Павлодар, 12 апреля 2020 г. –Павлодар, 2020. – 2020. –С. 107–110.

**Приложение А**  
(справочное)

**Development of a laboratory installation for the study of control methods for  
ventilation drives for the WEST-03 controller**

Студент

Группа	ФИО
5AM99	Устименко Андрей Николаевич

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	Д.Т.Н., профессор		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Михайлова Ольга Владимировна	—		

## INTRODUCTION

The main task of any industry is the dynamic, proportional development of social production, increasing efficiency, increasing labor productivity, improving product quality, accelerating scientific and technological progress. All this is achieved by automating the system i.e. the reduction of human participation in technical operations, since the «human factor» can lead to various errors, failures, accidents.

To date special attention is paid to the technology of creating software for systems built on the basis of PLCs as well as to programming using the IEC 6113–3 standard languages.

The IEC 61131–3 standard was created to increase the speed and quality of the development of programs for PLCs, to create technologists - oriented programming languages, to ensure that the PLC conforms to the ideology of open systems, to eliminate the stage of additional training when changing the type of PLC. This environment contains all the necessary tools for writing, testing and debugging programs using emulators and real PLCs, as well as many ready-made fragments of the program code.

Errors in the PLC application software can lead to the loss of synchronous operation of the mechanisms, which can cause them to break down and lead to injury to the operating personnel. The properly designed system has to contain interlocking elements that exclude that possibility [1].

Nowadays, there is a great shortage of qualified personnel who can work with PLCs and understand the automation algorithm. This paper focuses on finding the solution to this problem.

The task of any educational institution is to train highly qualified personnel who have gained not only theoretical knowledge, but also practical skills. During practical classes while doing laboratory work students are encouraged to internalize the theoretical knowledge, to gain practical skills, to handle a variety of equipment and problem-solving environment.

As an example, a supply ventilation system was taken, which is quite complex and has a wide application, on the basis of which a laboratory installation was developed. It consists of an air valve driven by a motor, a duct filter, which, thanks to a pressure sensor, determines the suitability of the air supplied to the room, a heater



(electric or water) and a fan, the «heart» of the entire system. Of course, there are more complex systems, but we will focus on the most common structure.

Often, quite simple tasks, such as setting up the dynamic parameters of the PID controller, the operation algorithm in an emergency situation present a challenge to a young professional. These can arise even in quite comfortable «office» environment, let alone the “field environment” with the production process in operation. The machinery noise, vibration, insufficient lighting conditions, poor communication / connection may cause a specialist either to fail or configure the automatics.

To build a control system for the installation, it was decided to use the CoDeSys software package having all the necessary elements. Today this software suite is the leader among the IEC products used to program more than half a million controllers annually [3].

The stand unit is available, but their cost is high. Therefore, it was decided to use modern 3D printer prototyping methods to make a mobile stand, which is relatively cheap, convenient, and, more importantly, with open functionality. It was decided to stop using the PLC, since the cheapest and most common OVEN PLC100 costs 15 thousand rubles [4], and the integrated emulator in CoDeSys makes it possible to use an adapter board, which acts as a kind of an adapter for connecting executive units (a drive, a heater) and measuring devices (temperature sensors).

Thus, it is possible to conduct training activities using the bench equipment with the common CoDeSys environment.

The NPO WEST regulator will be used as a prototype for the creation of the adapter board. This regulator is used for various purposes in automation, so the development of the board will be based on it. Technical parameters, connection possibilities of various sensors and communication interfaces will be covered. For the convenience of firmware and communication with a PC, it is planned to use the UART TTL protocol, namely the Wi-Fi module.

It is also planned to explore various ventilation scenarios written on the Akiar web platform and its operation at one of the chosen facilities will be discussed.

After that, its own library on FBD blocks will be created, which will enable to convert projects from one software environment to another, without losing any blocks while being used in other versions of the program. The more understandable Akiar

language will be used to teach the application of the IEC standard CoDeSys programming environment.

According to the obtained system tracing, dynamic characteristics will be determined by means of the modal method, and the coefficients of the PID controller with the corresponding transient process in the Scilab environment will be produced.

## CONCLUSION

The purpose of the final qualification work was to develop a laboratory installation, to research methods of controlling ventilation drives for the WEST-03 controller and to present a methodology for setting up dynamic control loops.

As an example, a supply ventilation system was taken, which is quite complex and has wide application, on the basis of this system, a laboratory installation was developed.

In the process of creating a laboratory setup, the following programs have been studied: SolidWorks for the design of the main units, which afterwards were printed using the modern 3D printer prototyping techniques; KiCad for the design of an adapter board for connecting executive units and measuring devices to the board. In order to test the control system, a starter template in the accepted form of mnemonic diagrams was built, and a system trace was obtained, on the basis of which the PID-controller will be tuned.

After checking the operation of the installation, one of the scripts written on the Akiar web platform and later transferred to CoDeSys was implemented and observed at a working facility. In addition, its own library on FBD blocks has been created, which enables to convert projects from one software environment to another, since at the initial stage CoDeSys is difficult, while Akiar has a more pleasant and intuitive interface.

Based on the resulting system tracing, the dynamic characteristics were determined and, using the modal method, the coefficients of the PID-controller were obtained, and the transient process of the object was constructed.

As part of the master's research work, the following articles were published and reported at conferences: «Development of a stand – a prototype of a ventilation system based on Arduino and CodeSys» [30], «Experimental installation for the study of air drying processes based on Arduino and CoDeSys» [31], «Development of a stand - a prototype of a ventilation system based on Arduino and CoDeSys» [32]. The bachelor's work was presented in the form of a startup.

In the section «Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving», after the comparison and assessment of the criteria of laboratory installations was made, the stand possessing optimal technical performance at a favorable cost of

the project was selected. Schedules for NTI were drawn up, the number of employees was determined, and costs were calculated. The pre-commissioning activities cost 727,206.21 rubles and 10,015 rubles was spent on the purchase of the equipment. The work was completed in 247 working days by a team of two people. Based on the calculation of the integral indicator of the effectiveness of scientific research, as well as on the basis of the comparison of financial and resource efficiency, our development turns out to be the most effective. However, a detailed assessment of economic efficiency is beyond the scope of this study and needs further elaboration.

In the section «Social responsibility» the following issues are covered:

- the legal norms of work in laboratories and organizational measures for the layout of the workplace.
- the analysis of harmful and hazardous production factors that can affect the personnel in the working area (electric shock, noise, lighting, microclimate);
- the harm caused to the environment as a result of the formation of various wastes;
- typical hazardous factors were identified: fire and electric shock.

Regulatory documents are assigned for each section, which must be followed in the study, modeling of the device in the workplace. It has been established that the workplace meets all standards.